

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Т. А. Ермоленко, М. А. Федосеева

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Утверждено Редакционно-издательским советом ФГБОУ ВПО «НГПУ»
в качестве учебного пособия

Второе издание, исправленное и дополненное

Новосибирск 2015

УДК 514(075.8)
ББК 22.151.34 я 73-1Е
Е744

Одобрено к печати
Учебно-методическим советом
ФГБОУ ВПО «НГПУ»

*Подготовлено и издано в рамках реализации Программы стратегического развития
ФГБОУ ВПО «НГПУ» на 2012–2016 гг.*

Р е ц е н з е н т ы:

д-р технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики и компьютерного
моделирования, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

И. Г. Мироненко,

*кафедра декоративно-прикладного искусства Института искусств,
ФГБОУ ВПО «НГПУ»*

Ермоленко, Т. А.

Е744 Аксонометрические проекции : учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. /
Т. А. Ермоленко, М. А. Федосеева ; Мин-во обр. и науки РФ, Новосиб. гос. пед.
ун-т. – Новосибирск : Изд-во НГПУ, 2015 – 75 с.

ISBN 978-5-00023-790-8

Данное учебное пособие выгодно отличается от большинства учебников, содержащих раздел «Аксонометрические проекции», тем, что материал излагается в систематизированном виде в соответствии с программой по основам начертательной геометрии для художественно-графических факультетов.

Кроме теоретической части, авторы дают примеры решения типовых задач по каждой теме курса, в конце пособия приводятся варианты задания для самостоятельной работы.

Предназначается для всех форм обучения магистратуры и бакалавриата, а также может быть полезно учителям средних школ для проведения факультативных занятий.

**УДК 514(075.8)
ББК 22.151.34 я 73-1**

ISBN 978-5-00023-790-8

© Ермоленко Т. А., Федосеева М. А., 2015
© Оформление. ФГБОУ ВПО «НГПУ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
Сущность метода аксонометрического проецирования	5
ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ.....	7
Прямоугольная изометрическая проекция	9
Прямоугольная диметрическая проекция	10
КОСОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ.....	12
Косоугольная фронтальная диметрическая проекция	12
Косоугольная фронтальная изометрическая проекция	13
Косоугольная горизонтальная изометрическая проекция.....	14
АКСОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ ОКРУЖНОСТИ.....	15
Построение окружности в прямоугольной диметрической проекции.....	17
Построение окружностей в косоугольной фронтальной диметрической проекции	20
Построение окружности в косоугольной фронтальной изометрической проекции.....	21
Построение окружности в косоугольной горизонтальной изометрической проекции.....	22
АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ПЛОСКИХ ФИГУР.....	24
Аксонометрические проекции правильных многоугольников.....	24
Аксонометрические проекции неправильных многоугольников.....	25
ПОСТРОЕНИЕ СОПРЯЖЕНИЙ.....	27
ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЛИНИЙ.....	28
АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ.....	30
Построение многогранников.....	30
Построение цилиндров	31
Построение конуса	33
Построение сферы.....	33
Построение поверхностей вращения.....	34
Построение кругового кольца.....	36
ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТЯМИ	38
ВЗАИМНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	40
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ	43
УСЛОВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ	45
АКСОНОМЕТРИЯ В ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОМ ИСКУССТВЕ.....	47
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ «АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ»	63
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	66
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Чертежи в системе прямоугольных проекций просты в построении, по ним легко определить размеры предметов, но они обладают существенным недостатком – отсутствием наглядности.

Для облегчения чтения комплексного чертежа, более полного выявления формы предмета его зачастую дополняют аксонометрическим изображением.

Считается, что французский архитектор, инженер и математик Жирар Дезарг (1593–1662) положил начало метода аксонометрических проекций.

Внимание к теории аксонометрических проекций объясняется простотой и точностью, т. к. по аксонометрическому изображению легко определить истинную ширину, высоту и глубину изображаемого предмета.

По наглядности аксонометрия ничуть не уступает художественному рисунку, выполненному по законам перспективы, поэтому её иногда называют *параллельной перспективой*.

Выдающиеся русские ученые и педагоги Н. И. Макаров (1824–1904) и В. И. Курдюмов (1853–1904) издали ряд работ, где подробно излагалась теория аксонометрических проекций или так называемая «параллельная перспектива».

Д. И. Коргин, работая в области методов изображения, написал ряд работ по теории аксонометрии и перспективе.

В дальнейшем теоретические разработки в области аксонометрических проекций получили свое развитие в трудах таких крупных ученых, как проф. Н. А. Рынин (1887–1943), проф. А. И. Добряков (1895–1947), проф. В. И. Каменев, Н. А. Глаголев, Н. Ф. Четверухин, В. О. Гордон, И. И. Котов, Н. С. Кузнецов и др.

Аксонометрические проекции широко используются во всех областях техники, дизайне, изобразительном искусстве. Известно, что аксонометрия, как средство наглядного изображения, применялась еще в глубокой древности. Художники используют аксонометрию для изображения небольших предметов, наблюдаемых с близких расстояний преимущественно в закрытых помещениях. В связи с этим раздел начертательной геометрии «Аксонометрические проекции» изучается на художественно-графических факультетах с целью овладения будущими выпускниками мастерством построения различных графических изображений.

Пособие содержит теорию образования аксонометрических проекций, описание методики построения различных образов, начиная от простых плоских фигур и заканчивая сложными поверхностями, приводятся примеры решения позиционных задач (пересечение тела плоскостью, взаимное пересечение тел и др.), даны варианты заданий для самостоятельного решения.

Данное пособие предназначено для студентов дневного и заочного отделений института искусств, успешно может быть использовано для самостоятельного изучения. Его можно рекомендовать учителям школ, ведущим факультативные занятия.

При проецировании изменяются величины L_x , L_y , L_z , а вместе с ними и координатная ломаная. Для построения аксонометрических проекций введем понятие показателей или коэффициентов искажения, зная которые, можно определить положение в пространстве любой точки.

Коэффициенты искажения k_x , k_y , k_z определим как отношение масштабных единиц к натуральным:

$$k_x = \frac{L_{xp}}{L_x}; \quad k_y = \frac{L_{yp}}{L_y}; \quad k_z = \frac{L_{zp}}{L_z}.$$

В зависимости от коэффициентов искажения различают следующие аксонометрические проекции:

- изометрическую, когда все три коэффициента равны между собой: $k_x = k_y = k_z$ (древнегреческое *isos* – одинаковый);
- диметрическую, когда коэффициенты искажения равны только по двум любым осям, например, $k_x = k_y$, $k_z \neq k_y$ (*di* – двойной);
- триметрическую, когда коэффициенты искажения различны по трем осям: $k_x \neq k_y \neq k_z$ (*tries* – три).

В зависимости от угла наклона проецирующих лучей аксонометрические проекции бывают:

- ортогональные, когда направление проецирования S перпендикулярно к плоскости проекции P ($\varphi = 90^\circ$);
- косоугольные, когда направление проецирования S составляет с плоскостью P угол, отличный от прямого ($\varphi \neq 90^\circ$).

Очевидно, задавая разные направления проецирования и принимая различные взаимные положения натуральной системы координат и аксонометрической плоскости P , можно получить множество аксонометрических проекций с различными коэффициентами искажения.

Справедливость этого утверждения была доказана во второй половине XVIII в. немецким геометром Карлом Польке (1810–1876).

Теорема К. Польке гласит: *три отрезка произвольной длины, лежащие в одной плоскости и выходящие из одной точки под произвольными углами друг к другу, представляют параллельную проекцию трех равных отрезков, отложенных на прямоугольных осях координат от начала.*

ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

АксонOMETрическую плоскость P зададим так, чтобы она пересекала оси натуральной системы в точках x_p, y_p, z_p . Спроецируем данную систему осей на плоскость P по направлению OO_p (рис. 2).

Точки x_p, y_p, z_p определяют треугольник, называемый *треугольником следов*.

Рассмотрим свойства прямоугольных аксонометрических проекций.

1. Стороны треугольника следов перпендикулярны к соответствующим аксонометрическим осям. Действительно, т. к. ось O_z перпендикулярна к плоскости H , а прямая $x_p y_p$ (горизонтальный след плоскости P) лежит в плоскости H , то $x_p y_p$ также перпендикулярна к проекции оси O_z , т. е. к аксонометрической оси $O_p z_p$.

Аналогично можно доказать, что $x_p z_p \perp O_p y_p$ и $y_p z_p \perp O_p x_p$.

Таким образом, аксонометрические оси являются высотами треугольника следов. Кроме того, треугольник следов всегда остроугольный, следовательно, точка пересечения осей находится внутри треугольника.

2. Треугольники $OO_p x_p, OO_p y_p, OO_p z_p$ – прямоугольные (рис. 2).

Рассмотрим треугольник $OO_p x_p$: $\alpha = \angle O_p x_p O$, а отношение $\frac{O_p x_p}{O x_p} = \cos \alpha$.

А поскольку $\frac{O_p x_p}{O x_p} = k_x$, то, следовательно, $k_x = \cos \alpha$.

Рассмотрев другие треугольники, можно сделать вывод: в прямоугольной аксонометрической проекции коэффициенты искажения равны косинусам углов наклона координатных осей к плоскости P , а косинусы углов всегда меньше единицы: $k_x = \cos \alpha$, $k_y = \cos \alpha$, $k_z = \cos \alpha$.

$$k_x < 1; k_y < 1; k_z < 1.$$

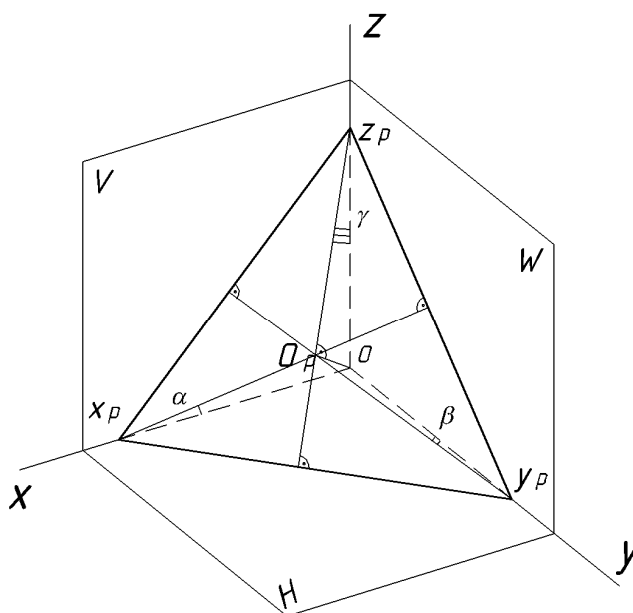


Рис. 2. Равносторонний треугольник следов

3. Зададим параллелепипед, диагональ которого $OO_p \perp$ плоскости P (рис. 3). Три его ребра лежат на осях координат. Известно, что сумма квадратов трех его измерений равна квадрату диагонали:

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = (OO_p)^2 \quad (1)$$

Обозначим углы наклона осей x, y, z к OO_p соответственно $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$. Рассмотрим треугольник OO_pZ_p . Он прямоугольный, следовательно, $z_1 = OO_p \cos \gamma_1$. Аналогично $y_1 = OO_p \cos \beta_1$; $x_1 = OO_p \cos \alpha_1$.

Подставив эти выражения в формулу (1), получим:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (2)$$

Рассмотрим треугольник OO_pz_p . В этом треугольнике O_pz_p – проекция оси Oz на плоскость P . Очевидно, что $\cos \gamma_1 = \sin \gamma$. Аналогично можно сделать вывод, что $\cos \alpha_1 = \sin \alpha$; $\cos \beta_1 = \sin \beta$.

Заменим в формуле (2) косинусы углов $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ синусами углов наклона осей к плоскости P α, β, γ . Получим:

$$\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + \sin^2 \gamma = 1$$

или

$$(1 - \cos^2 \alpha) + (1 - \cos^2 \beta) + (1 - \cos^2 \gamma) = 1.$$

После преобразования имеем:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 2 \quad (3)$$

Зная, что $k_x = \cos \alpha$, $k_y = \cos \beta$, $k_z = \cos \gamma$, подставим эти значения в формулу (3):

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = 2 \quad (4)$$

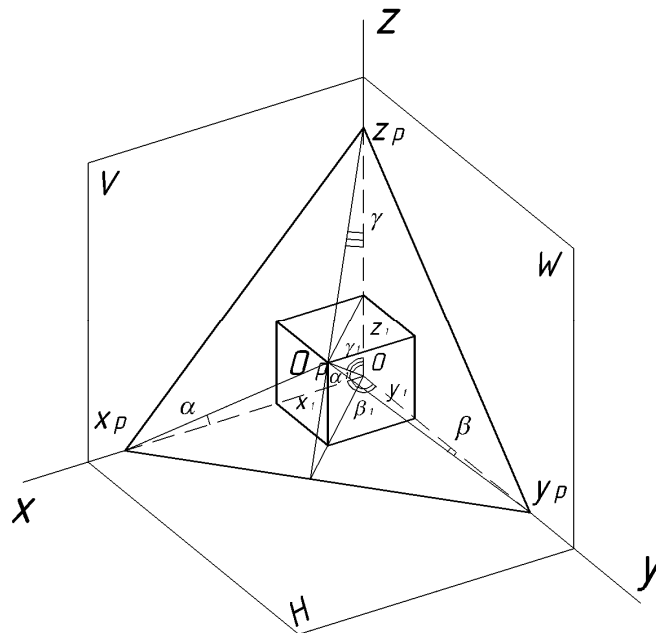


Рис. 3. Параллелепипед и треугольник следов

Очевидно, можно сделать вывод: *сумма квадратов коэффициентов искажения в прямоугольной аксонометрической проекции равна двум.*

ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Если коэффициенты искажения по всем осям равны между собой, т. е. $k_x = k_y = k_z$, то это прямоугольная изометрическая проекция. Тогда $\cos \alpha = \cos \beta = \cos \gamma$ и $\alpha = \beta = \gamma$. Исходя из этого, можно сделать вывод, что:

- треугольник следов в такой проекции – равносторонний;
- аксонометрические оси образуют равные между собой углы 120° (рис. 4);
- плоскости H , V , W имеют одинаковые углы наклона к плоскости P .

Используя соотношение $k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = 2$ и то, что $k_x = k_y = k_z$, получим численное значение действительного коэффициента искажения: $3k^2 = 2$;

$$k = \frac{\sqrt{2}}{3} = 0,82.$$

На практике чаще пользуются *приведенным* коэффициентом искажения $k_{\text{пр}} = 1$. В этом случае построение аксонометрического изображения облегчается, т. к. по аксонометрическим осям откладывают натуральные координатные отрезки (рис. 4). Полученное таким образом изображение имеет увеличение в 1,22 раза ($\frac{1}{0,82} \approx 1,22$) и называется *практической* проекцией.

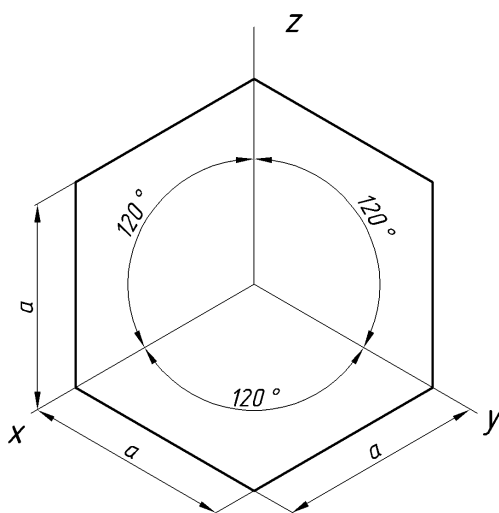


Рис. 4. Прямоугольная изометрическая проекция

Оси в прямоугольной изометрической проекции можно строить разными способами:

- с помощью угольников с углами 30° , 60° , 90° (рис. 5а);
- с помощью циркуля (рис. 5б);
- с помощью отрезков (рис. 5в).

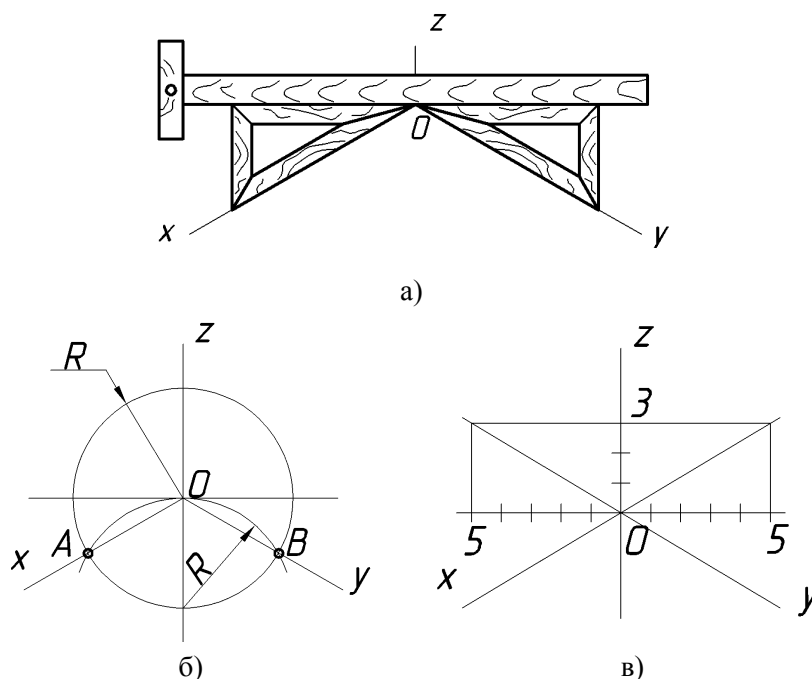


Рис. 5. Построение осей в прямоугольной изометрической проекции:

а) при помощи треугольников и линейки, б) при помощи дуг окружностей; в) при помощи отрезков

ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Прямоугольная диметрическая проекция получается в том случае, когда $k_x = k_z = k$ и $k_y = \frac{1}{2}k$.

Подставляя эти значения в формулу (4), вычислим значения коэффициентов искажения:

$$2k^2 + \frac{1}{4}k^2 = 2;$$

$$k^2 = \frac{8}{9};$$

$$k = \frac{2\sqrt{2}}{3} \approx 0,94.$$

Отсюда следует, что $k_x = k_z = 0,94$, а $k_y = \frac{k}{2} \approx 0,47$.

Треугольник следов $A_p B_p C_p$ равнобедренный, т. к. $k_x = k_z$ (рис. 6). Аксонометрическая ось $O_p y_p$ является одновременно высотой и медианой треугольника следов и делит сторону $A_p C_p$ пополам в точке D_p .

$$\sin \delta = \frac{D_p C_p}{D_p O_p} = \frac{\sqrt{2}}{2} : \frac{2\sqrt{2}}{3} = \frac{3}{4} \approx 0,75.$$

Отсюда $\delta = 48^\circ 35'$, а следовательно, $z_p O_p x_p = 2\delta = 97^\circ 10'$, $y_p O_p x_p = 131^\circ 25'$. Углы $z_p O_p x_p$ и $z_p O_p y_p$ отличны от 90° на $\varepsilon = 7^\circ 10'$ и $\mu = 41^\circ 25'$.

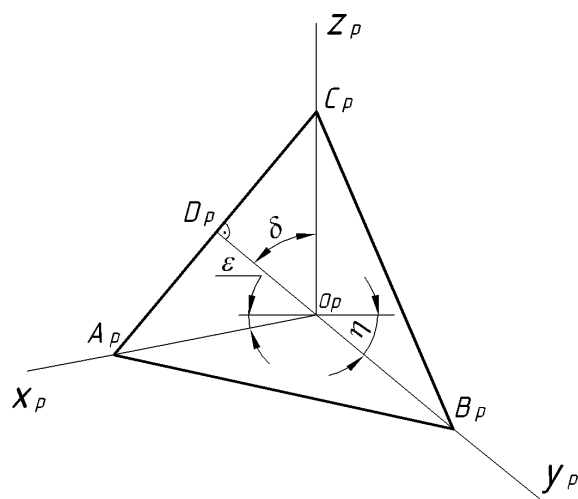


Рис. 6. Равнобедренный треугольник следов

На рис. 7 дано расположение осей в прямоугольной диметрической проекции. Эти углы можно построить без транспортира по их тангенсам, зная, что $7^\circ 10' = \frac{1}{8}$ и $41^\circ 25' = \frac{7}{8}$.

На практике следует пользоваться приведенными коэффициентами искажений: $k_x = k_z = 1$; $k_y = 0,5$, т. е. по осям x и z откладывать натуральные координатные отрезки, а по оси y в 2 раза меньше (рис. 8). При этом происходит увеличение в 1,06 раза ($\frac{1}{0,94} \approx 1,06$).

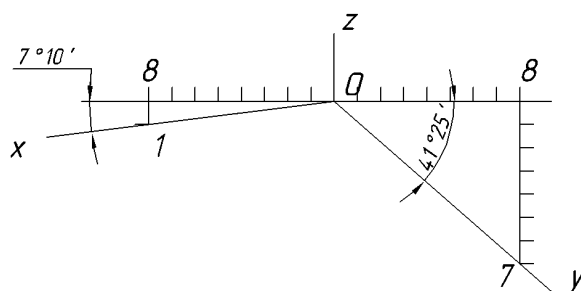


Рис. 7. Построение осей в прямоугольной диметрической проекции при помощи отрезков

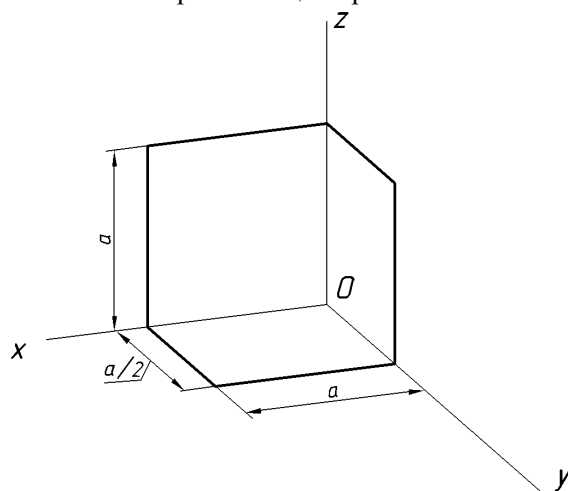


Рис. 8. Прямоугольная диметрическая проекция

КОСОУГОЛЬНЫЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

КОСОУГОЛЬНАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Рассмотрим аксонометрическую проекцию, в которой одна из координатных плоскостей параллельна аксонометрической плоскости P , при этом фигуры, лежащие в этой координатной плоскости или ей параллельные, на плоскость P будут проецироваться без искажения.

Пользоваться прямоугольным проецированием в этом случае нельзя, т. к. одна из осей натуральной системы координат совпадает с направлением проецирования, вырождаясь в точку, а изображение потеряет наглядность. В этом случае и применяют косоугольное проецирование.

Рассмотрим *косоугольную фронтальную диметрическую проекцию*. Аксонометрическую плоскость P расположим параллельно координатной плоскости V . Тогда положение аксонометрических осей будет таким, как показано на рис. 9. Коэффициент искажения $k_y = 0,5$, а $k_x = k_z = 1$.

Способы построения осей данной аксонометрической проекции показаны на рис. 10. Допускается применять фронтальные диметрические проекции с углами наклона оси y 30° и 60° .

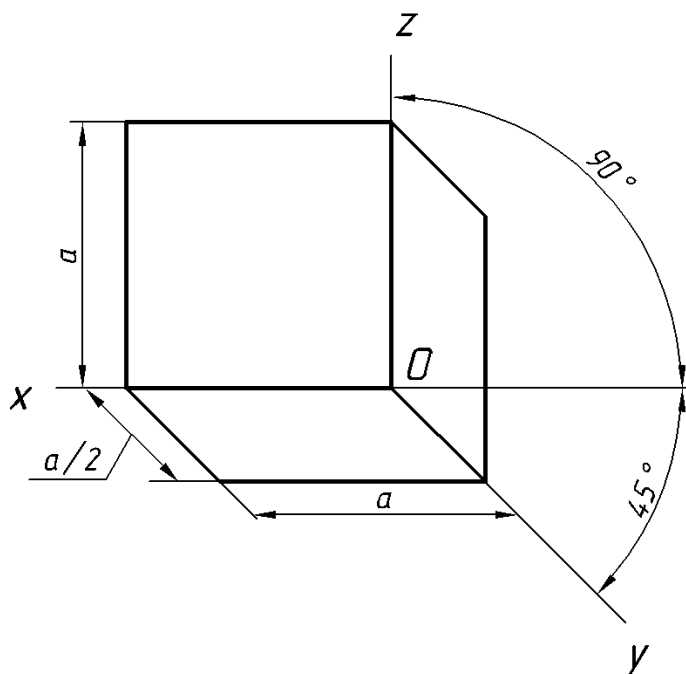


Рис. 9. Косоугольная фронтальная диметрическая проекция

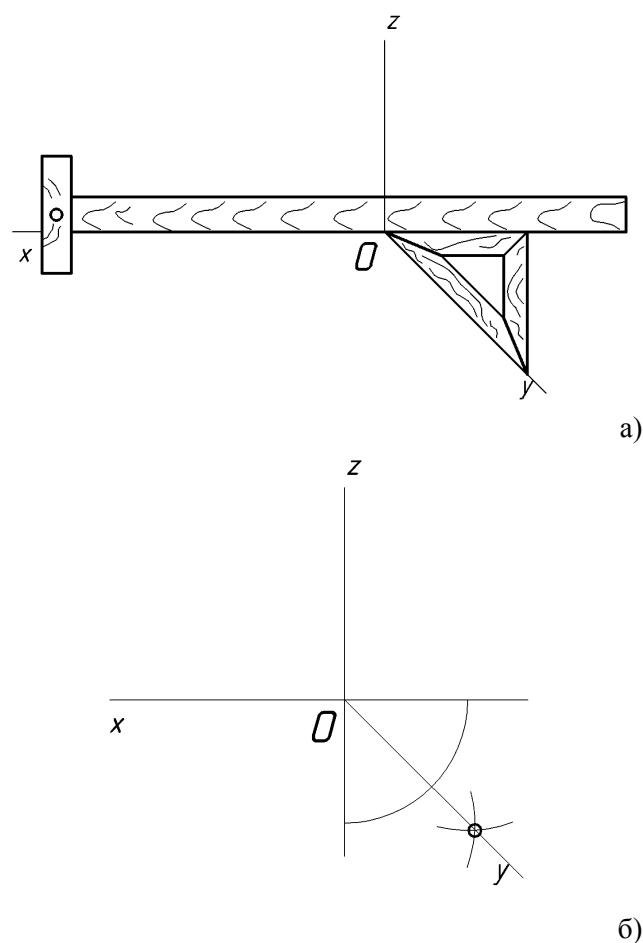


Рис. 10. Построение осей в косоугольной фронтальной диметрической проекции:
а) при помощи треугольника и линейки; б) при помощи дуг окружностей

КОСОУГОЛЬНАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Теперь рассмотрим случай, когда аксонометрическая плоскость P расположена параллельно координатной плоскости V , а коэффициенты искажения $k_x = k_y = k_z = 1$. Положение аксонометрических осей такой проекции приведено на рис. 11. Допускается применять данную проекцию с углами наклона оси y 30° и 60° .

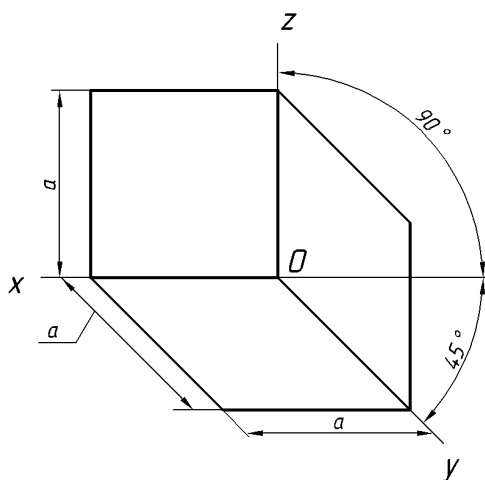


Рис. 11. Косоугольная фронтальная изометрическая проекция

КОСОУГОЛЬНАЯ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Если аксонометрическую плоскость проекций P расположить параллельно координатной плоскости H , получим косоугольную горизонтальную изометрическую проекцию, в которой коэффициенты искажения равны между собой $k_x = k_y = k_z = 1$. Положение аксонометрических осей для такой проекции показано на рис. 12. Допускается применять горизонтальные изометрические проекции с углами наклона оси y 45° и 60° , сохраняя при этом угол между осями x и y 90° .

Построение аксонометрических осей при помощи треугольников показано на рис. 13.

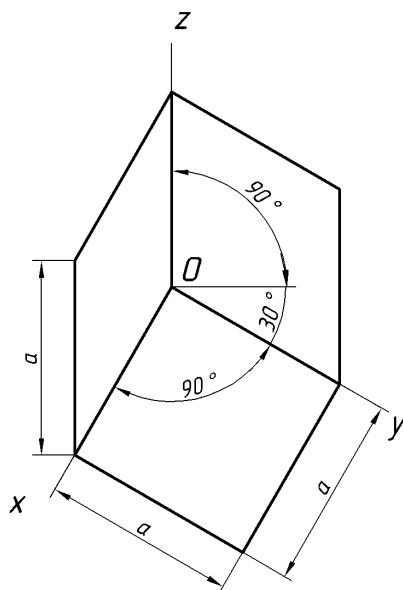


Рис. 12. Косоугольная горизонтальная изометрическая проекция

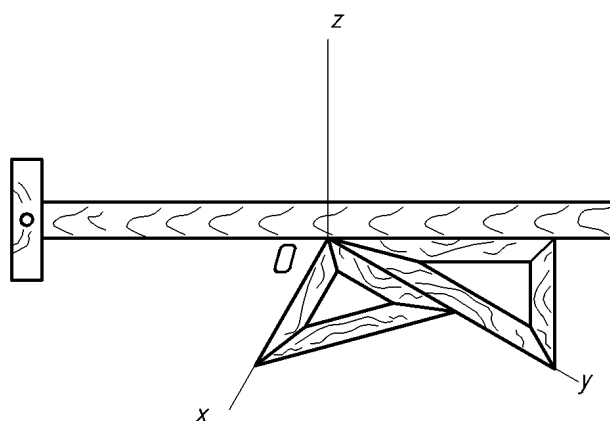


Рис. 13. Построение осей при помощи треугольников и линейки

АКСОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ ОКРУЖНОСТИ

На практике часто приходится строить аксонометрические проекции окружностей, плоскости которых параллельны какой-либо координатной плоскости.

В прямоугольной изометрической и диметрической проекциях окружность проецируется в *эллипс*, поэтому важно знать, каким образом проходят их оси.

Чтобы иметь наглядное представление о расположении осей, впишем окружности в грани куба, т. е. в квадраты. Окружности будут касаться ребер куба в их серединах. На рис. 14 можно видеть, что точки касания эллипсов, в которые преобразуются окружности, также находятся в серединах сторон ромбов, в которые спроецировались квадраты. Кроме этих точек касания важно иметь еще четыре точки, принадлежащие концам большой и малой осей эллипса.

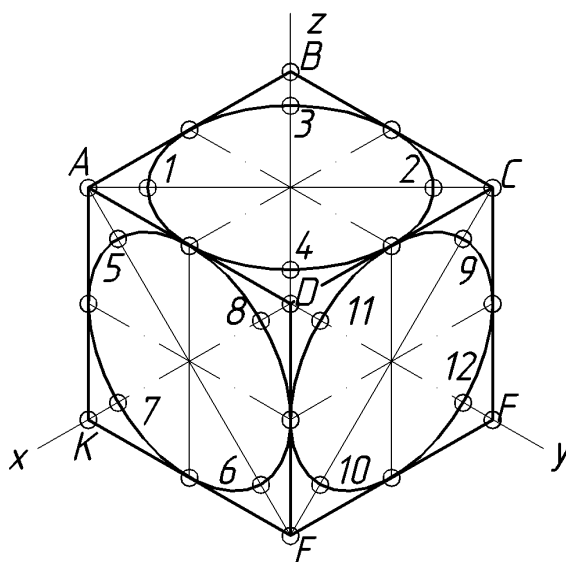


Рис. 14. Аксинометрическая проекция куба
со вписанными в его грани эллипсами

В прямоугольных изометрических и диметрических проекциях большая ось эллипса в любой грани куба располагается вдоль большой диагонали ромба, а малая ось – вдоль малой диагонали.

На рис. 14 видно, что центры эллипсов лежат на пересечении диагоналей ромбов. Большие диагонали ромбов AC , AE и CE соответственно перпендикулярны к осям O_z , O_x и O_y . Они представляют собой действительную величину диагоналей граней куба. Отсюда следует, что большие оси эллипсов 1–2, 5–6, 9–10, совпадающие с этими диагоналями, будут иметь истинную величину диаметров окружностей, вписанных в грани куба.

Малые оси эллипсов 3–4, 7–8 и 11–12, совпадая по направлению с малыми диагоналями ромбов, располагаются перпендикулярно к большим осям эллипсов. Для определения размера малой оси эллипса рассмотрим треугольник ABD .

Треугольник ABD – равносторонний: $AB = BD = AD = 0,82 \times 1 = 0,82$, где 1 – условный размер стороны квадрата, а 0,82 – коэффициент искажения. Натуральный размер диагонали

квадрата $ABCD$ $BD = \sqrt{2}$. Поэтому показатель искажения по направлению BD будет равен $\frac{0,82}{\sqrt{2}} \approx 0,58$. Значит, малая ось эллипса $3-4 \approx 0,58d$, где d – диаметр заданной окружности.

Из построения эллипса в прямоугольной изометрической проекции можно сделать следующие выводы:

1. Большая ось эллипса всегда перпендикулярна отсутствующей для данной плоскости оси, а малая ось совпадает с направлением этой оси. Для плоскости xOy большая ось $1-2 \perp Oz$, для плоскости yOz большая ось $5-6 \perp Ox$, для плоскости xOz большая ось $9-10 \perp Oy$.
2. Большая ось всегда перпендикулярна малой оси эллипса.
3. Все эллипсы от окружностей равного диаметра, расположенных в разных координатных плоскостях, равны между собой (рис. 14).

Чаще пользуются практической изометрической проекцией с коэффициентами искажения $k_x = k_y = k_z = 1$, которая от теоретической изометрической проекции отличается только масштабом увеличения в 1,22 раза. Поэтому оси эллипсов тоже увеличиваются в 1,22 раза: большая ось равна $1,22d$; малая ось равна $1,22 \times 0,58d = 0,7d$, где d – диаметр заданной окружности.

Для упрощения построения эллипсы заменяют овалами, очерченными дугами окружностей. На рис. 15 показан один из способов построения овалов. Рассмотрим последовательность вычерчивания для окружности, расположенной в горизонтальной плоскости (рис. 15а).

- Проводим большую ось овала, которая перпендикулярна оси OZ .
- Обозначаем пересечение осей OX и OY с данной окружностью диаметра d точками 1, 2, 3 и 4.
- Из точек 1 и 3 радиусом $R = d$ делаем засечки на оси OZ и получаем точки O_1 и O_2 .
- Из точек O_1 и O_2 , как из центров, радиусом R проводим большие дуги овала, заключенные между точками 1 и 4, 2 и 3; они определяют на оси OZ малую ось овала CD .
- Откладываем на большой оси половину малой, т. е. $OO_3 = OO_4 = OC$, и из точек O_3 и O_4 проводим малые дуги овала радиусом $r = O_31 = O_43$, определяющие на перпендикуляре к оси OZ большую ось овала AB .

Для других координатных плоскостей овалы строятся аналогично, лишь с той разницей, что большая ось овала AB , например, для фронтальной плоскости проекций проводится перпендикулярно оси OY (рис. 15б), а для профильной – AB перпендикулярна OX (рис. 15в).

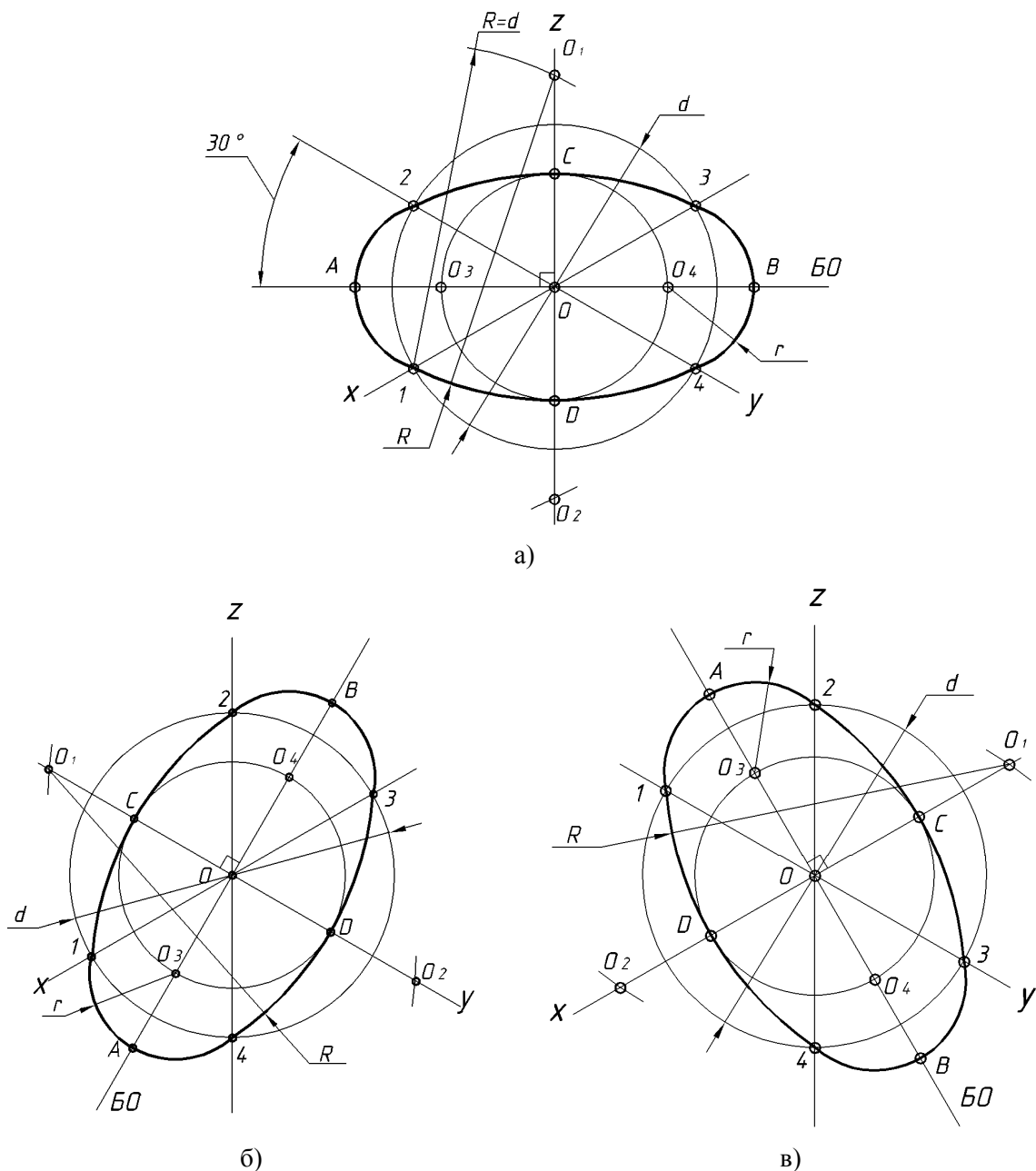


Рис. 15. Построение овалов: а) окружность параллельна горизонтальной плоскости; б) окружность параллельна фронтальной плоскости; в) окружность параллельна профильной плоскости

ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ДИМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Рассмотрим соотношение между большой и малой осями эллипсов – проекций окружностей, лежащих в разных координатных плоскостях. Большая ось для всех трех эллипсов будет одинакова и равна $AB = d$. Малые оси эллипсов для окружностей, лежащих в координатных плоскостях xOy и yOz или им параллельным, будут определяться по формуле (4), из чего следует, что $CD = 0,33d$, при $k_x = k_z \approx 0,94$.

Малая ось эллипса CD для координатной плоскости xOz также определяется по формуле (4), откуда следует $CD \approx 0,88d$, при $k_y = 0,47$.

На практике пользуются приведенной (практической) диметрической проекцией с коэффициентами искажения: $k_x = k_z = 1$; $k_y = 0,5$, которая от теоретической отличается увеличением в 1,06 раза. Оси эллипсов при этом увеличиваются: большая ось $AB = 1,06d$, малая ось $CD = 0,35d$ для координатных плоскостей xOy и yOz , малая ось $CD = 0,95d$ для координатной плоскости xOz .

На рис. 16 дано изображение овалов для окружностей заданного диаметра d в прямоугольной диметрической проекции, расположенных в трех координатных плоскостях.

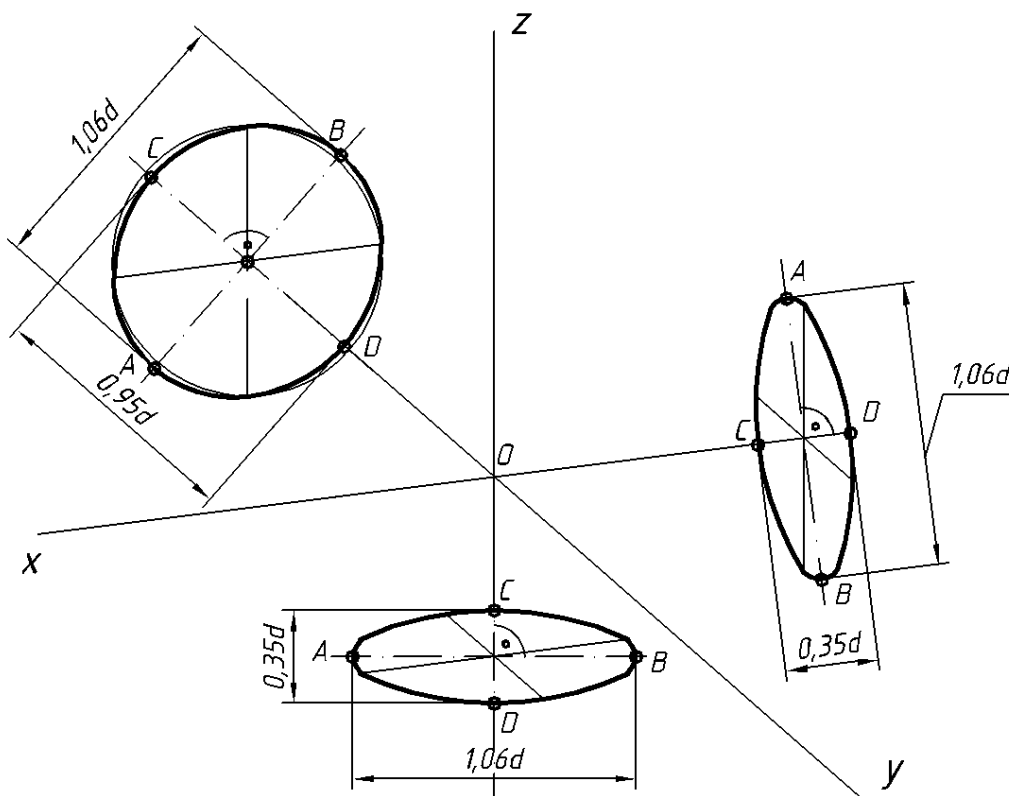


Рис. 16. Положение овалов
в прямоугольной диметрической проекции

На рис. 17 дан пример для окружности, расположенной в горизонтальной плоскости xOy . Рассмотрим последовательность построения такого овала:

- проводим аксонометрические оси и большую ось овала, которая для плоскости xOy перпендикулярна к оси Oz , отсутствующей в данной плоскости проекций;
- соединяем точки 1 и 2, 3 и 4 прямыми линиями и на пересечении с направлением большой оси овала обозначим точки O_1 и O_2 , из которых, как из центров, проведем дуги радиусом $r = O_1 - 1 = O_2 - 3$. Они определяют большую ось овала AB ;
- из точки O радиусом $R = d$ (диаметр заданной окружности) делаем засечки на оси Oz , получим точки O_3 и O_4 , из которых, как из центров, проведем большие дуги овала радиусом $R_1 = O_3 - 3 = O_4 - 1$. Они ограничат малую ось овала CD .

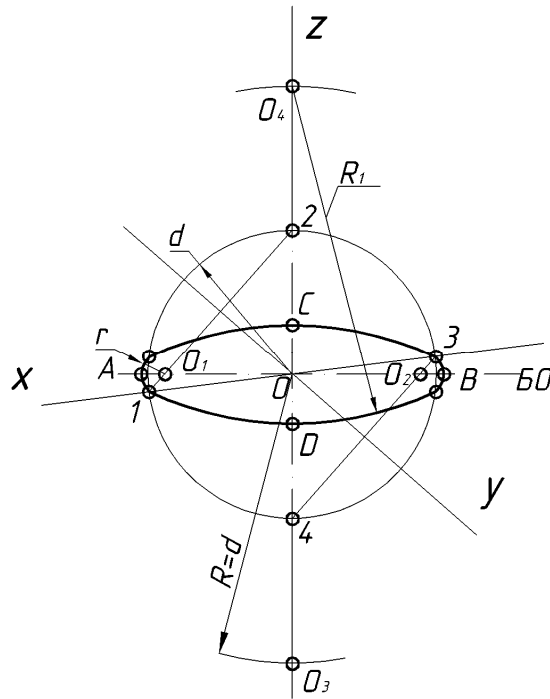


Рис. 17. Построение овала в прямоугольной диметрической проекции для окружности, лежащей в горизонтальной плоскости проекций

Для профильной плоскости yOz овал строится аналогично (рис. 18):

- проводим аксонометрические оси и строим большую ось овала перпендикулярно к оси Ox , отсутствующей в данной плоскости проекций;
- соединяем точки 1 и 2, 3 и 4 прямыми линиями и на пересечении с направлением большой оси овала обозначим точки O_1 и O_2 , из которых, как из центров, проведем дуги радиусом $r = O_1 - 2 = O_2 - 4$. Они определяют большую ось овала AB ;
- из точки O радиусом $R = d$ (диаметр заданной окружности) делаем засечки на оси Ox , получим точки O_3 и O_4 , из которых, как из центров, проведем большие дуги овала радиусом $R_1 = O_3 - 2 = O_4 - 4$. Они ограничивают малую ось овала CD ;

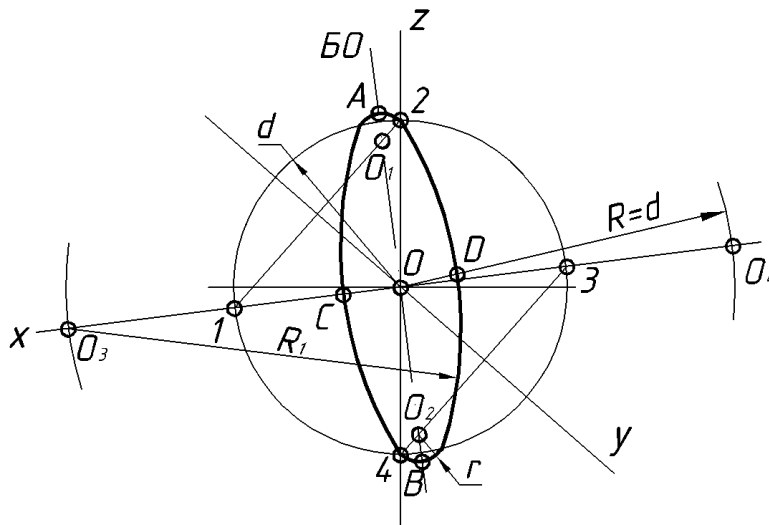


Рис. 18. Построение овала в прямоугольной диметрической проекции для окружности, расположенной в профильной плоскости проекций

Для окружности, лежащей в плоскости xOz , овал имеет иные соотношения осей, а потому и другое построение. Его последовательность показана на рис. 19:

- проведем аксонометрические оси и большую ось овала, которая пройдет перпендикулярно оси Oy , отсутствующей в данной координатной плоскости;
- отметим точку O_1 , как пересечение прямой 1–2 с перпендикуляром к оси Oz ;
- из центра O заданной окружности проведем вспомогательную окружность радиусом $r = O_1 - 1$ и обозначим точки ее пересечения с направлением большой и малой осей овала: O_2, O_3, O_4, O_5 ;
- из точек O_2 и O_3 , как из центров, проведем большие дуги овала радиусам $R = O_2 - 3 = O_3 - 1$ и получим на чертеже малую ось CD ;
- из точек O_4 и O_5 проведем малые дуги овала радиусом $R_1 = O_4 - 1 = O_5 - 2$, при этом получим большую ось овала AB .

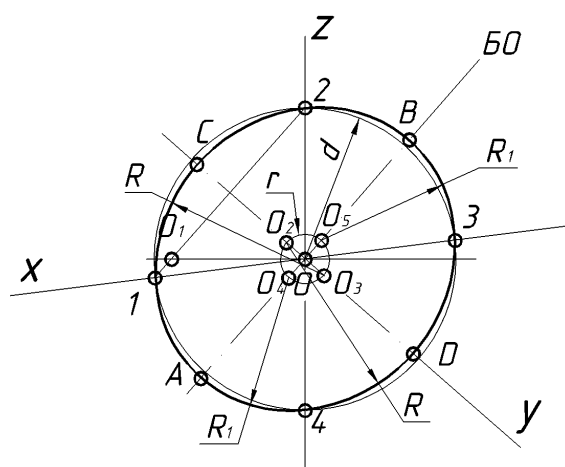


Рис. 19. Построение овала в прямоугольной диметрической проекции для окружности, лежащей во фронтальной плоскости

ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ В КОСОУГОЛЬНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ДИМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

На рис. 20 изображено проецирование окружностей во фронтальной косоугольной диметрической проекции. Окружности, расположенные во фронтальной плоскости xOz , проецируются на аксонометрическую плоскость без искажения.

Окружности, расположенные в горизонтальных и профильных или в параллельных им плоскостях, проецируются в виде эллипсов, большая ось которых равна $1,07d$, а малая – $0,33d$.

При замене эллипсов овалами вычерчивание производится по тем же правилам, что и в прямоугольной диметрической проекции.

Косоугольную фронтальную диметрическую проекцию рекомендуется применять, если на изображении целесообразно сохранить неискаженными очертания, расположенные в плоскостях xOz . Так на рис. 21 показана деталь, имеющая несколько окружностей, параллельных плоскости xOz .

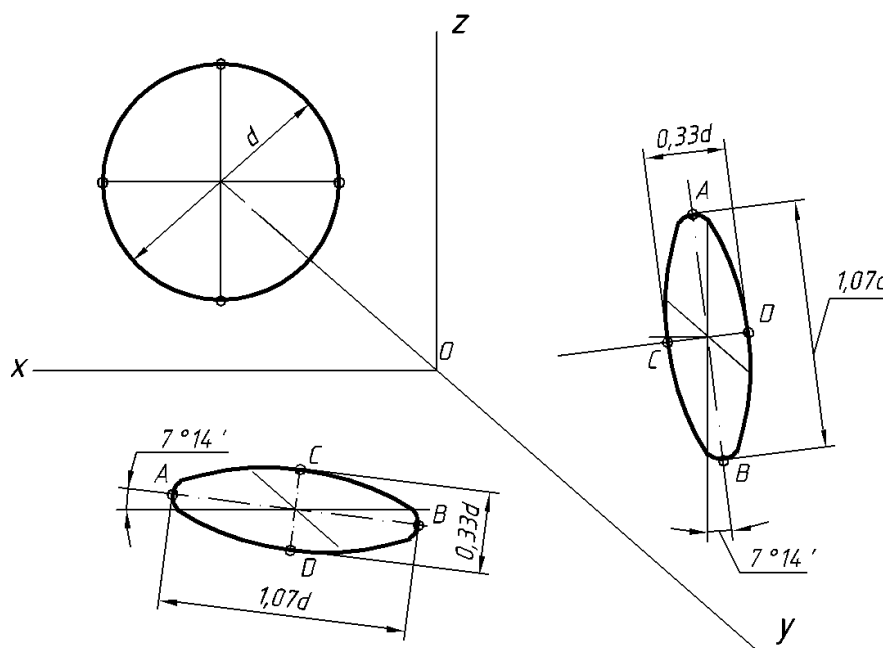


Рис. 20. Примеры проецирования окружностей в косоугольной фронтальной диметрической проекции

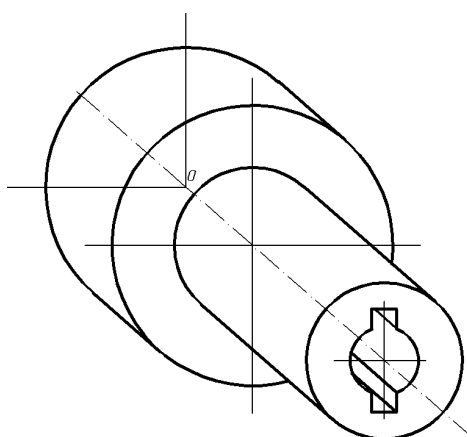


Рис. 21. Пример изображения детали в косоугольной фронтальной диметрической проекции

ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ В КОСОУГОЛЬНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ИЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Окружности, расположенные в плоскости, параллельной фронтальной плоскости проекций, также проецируются без искажения. Окружности, лежащие в плоскостях, параллельных горизонтальной и профильной плоскостям проекций, изображаются в виде эллипсов, большая ось которых равна $1,3d$, а малая – $0,54d$ (рис. 22). Большие оси этих эллипсов направлены по биссектрисе острого угла между прямыми, параллельными аксонометрическим осям и проходящими через центры эллипсов. При замене эллипсов овалы вычерчиваются по правилам геометрического черчения (построение овала по двум осям).

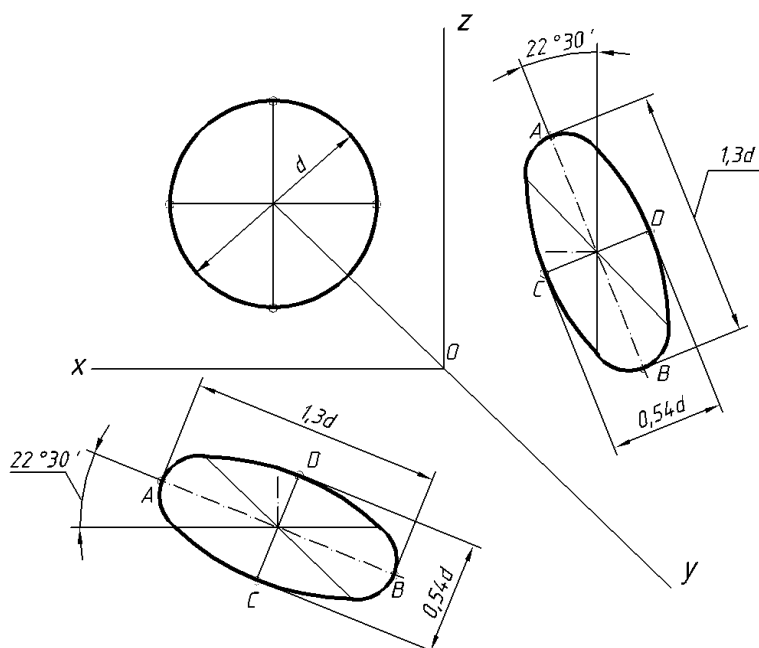


Рис. 22. Примеры проецирования окружностей
в косоугольной фронтальной изометрической проекции

Такая изометрическая проекция применяется при вычерчивании деталей, имеющих несколько окружностей, расположенных параллельно фронтальной плоскости проекций (рис. 23).

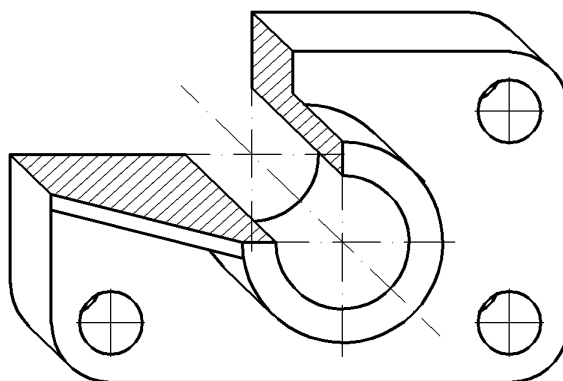


Рис. 23. Пример изображения детали
в косоугольной фронтальной изометрической проекции

ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТИ В КОСОУГОЛЬНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ИЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Окружности, лежащие в плоскостях, параллельных горизонтальной плоскости проекций, проецируются в данной аксонометрической проекции без искажения, а окружности, расположенные в плоскостях, параллельных фронтальной и профильной плоскостям проекций – в эллипсы (рис. 24).

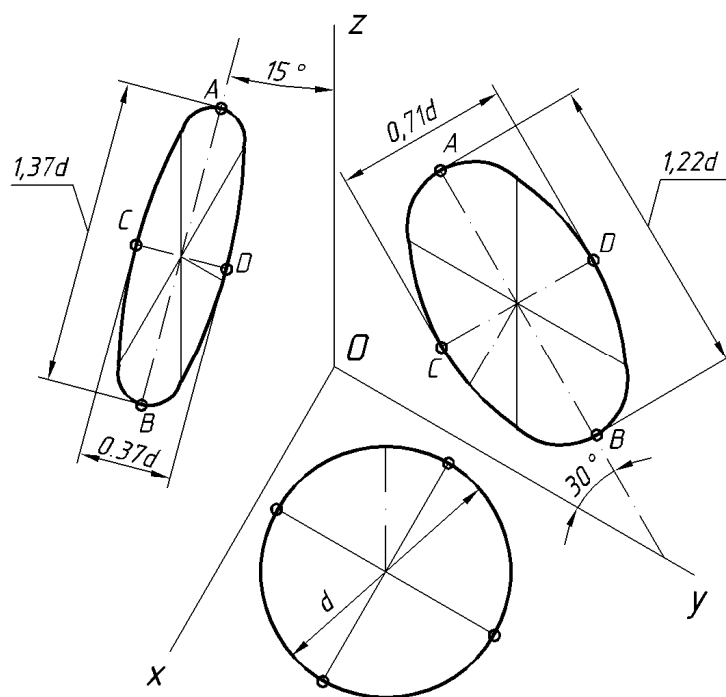


Рис. 24. Проецирование окружностей
в косоугольной горизонтальной изометрической проекции

Большая ось эллипса, расположенного в плоскости xOz , равна $1,37d$, а малая ось – $0,37d$. Большая ось эллипса, лежащего в плоскости yOz , равна $1,22d$, а малая ось – $0,71d$.

Большие оси эллипсов направлены по биссектрисе острого угла между прямыми, параллельными аксонометрическим осям, а малые оси перпендикулярны большим осям.

В плоскости yOz эллипсы вычерчиваются по правилам построения овалов в прямоугольной изометрической проекции, а эллипсы в плоскости xOz – по правилам геометрического черчения (построение овалов по двум осям).

Горизонтальная изометрическая проекция применяется при вычерчивании деталей, когда целесообразно сохранить неискаженными очертания, расположенные параллельно горизонтальной плоскости проекций (рис. 25).

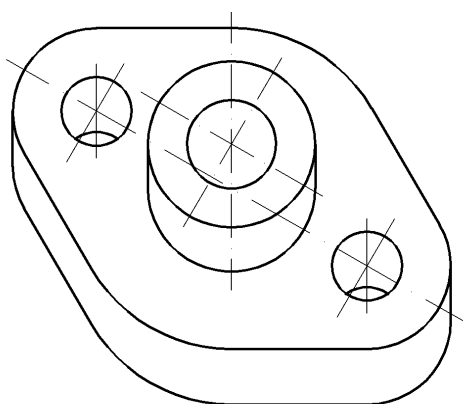


Рис. 25. Пример изображения детали
в косоугольной горизонтальной изометрической проекции

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ПЛОСКИХ ФИГУР

Построение аксонометрических проекций различных предметов начинается с вычерчивания плоских фигур, являющихся частью изображения. Рассмотрим несколько примеров, наиболее часто встречающихся на практике.

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Построение аксонометрических проекций многоугольников сводится к определению проекций их вершин, которые затем соединяют между собой отрезками прямых линий.

На рис. 26а показано построение треугольника, расположенного в горизонтальной плоскости.

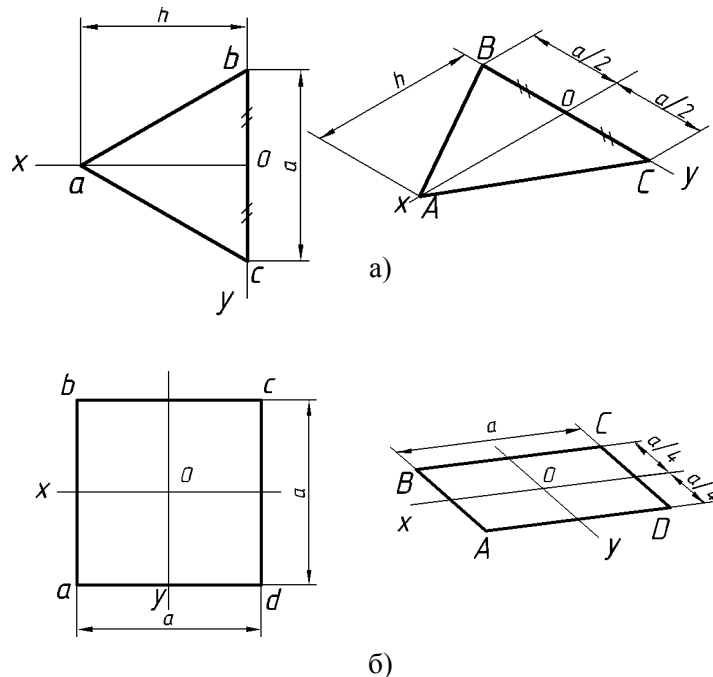


Рис. 26. Примеры построения аксонометрических проекций плоских фигур:
а) треугольника; б) квадрата

Построение выполним в следующей последовательности: на ортогональном чертеже проведем оси x и y . Затем эти оси изобразим в прямоугольной изометрической (или любой другой) проекции и, измерив на комплексном чертеже по оси Ox – отрезок h , а по оси Oy – отрезок a , отложим такие же отрезки по аксонометрическим осям. Полученные точки A , B , C соединим прямыми линиями.

При построении аксонометрических фигур с двумя взаимно перпендикулярными осями симметрии последние удобно принимать за оси координат. Для примера взят квадрат, правильный шестиугольник и пятиугольник. Последовательность построения понятна из чертежей (рис. 26, 27).

Следует обратить внимание, что квадрат необходимо вычерчивать в прямоугольной диметрической проекции, т. к. прямоугольная изометрическая проекция в данном случае не обладает наглядностью. Поэтому на рис. 26б размер a вдоль оси Oy уменьшен в два раза.

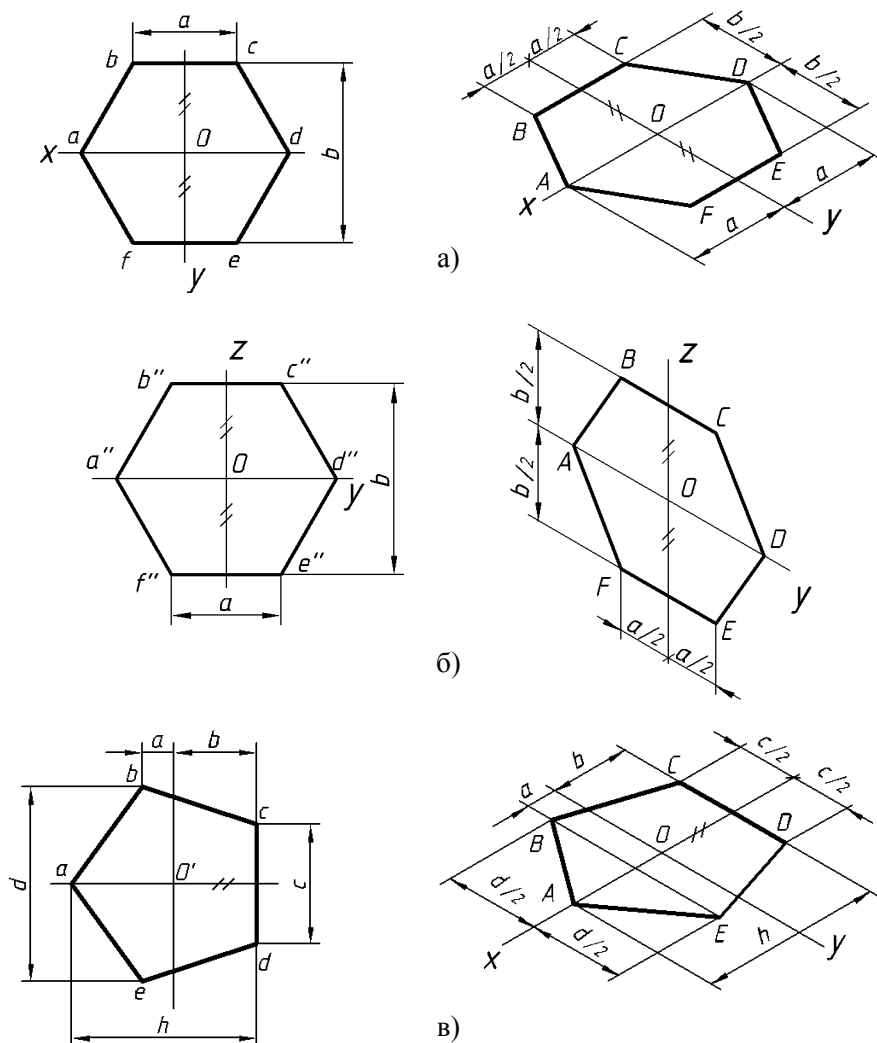


Рис. 27. Примеры построения плоских фигур в прямоугольной изометрической проекции:
а) правильного шестиугольника для горизонтальной плоскости; б) правильного шестиугольника для профильной плоскости; в) правильного пятиугольника для горизонтальной плоскости

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ НЕПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

В аксонометрических проекциях размеры углов и длин сторон, непараллельных осям координат, искажаются, поэтому аксонометрические проекции вершин неправильных многоугольников можно построить только по их координатам. Например, контур, изображенный на рис. 28, не имеет осей симметрии и для построения его аксонометрической проекции вначале следует задать координаты вершин на комплексном чертеже, а затем по ним построить аксонометрическую проекцию.

Так, точка A найдена по координатам (A_x, A_y) , точка B – по координатам (B_x, B_y) и т. д. (рис. 28). Соединив полученные точки прямыми линиями, получим изображение неправильного многоугольника в прямоугольной изометрической проекции.

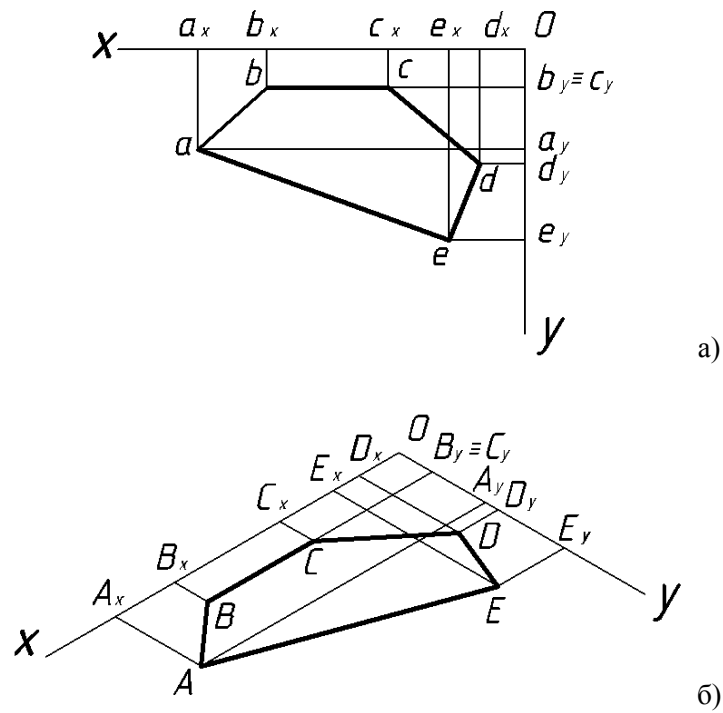


Рис. 28. Построение многоугольника в плоскости xOy :
а) на комплексном чертеже; б) в прямоугольной изометрической проекции

ПОСТРОЕНИЕ СОПРЯЖЕНИЙ

В изображении деталей с элементами сопряжений следует строить аксонометрические проекции частей окружности, представляющих собой части овалов, и находить точки сопряжений по их координатам. Примеры с элементами сопряжений в прямоугольной изометрической проекции даны на рис. 29, 30.

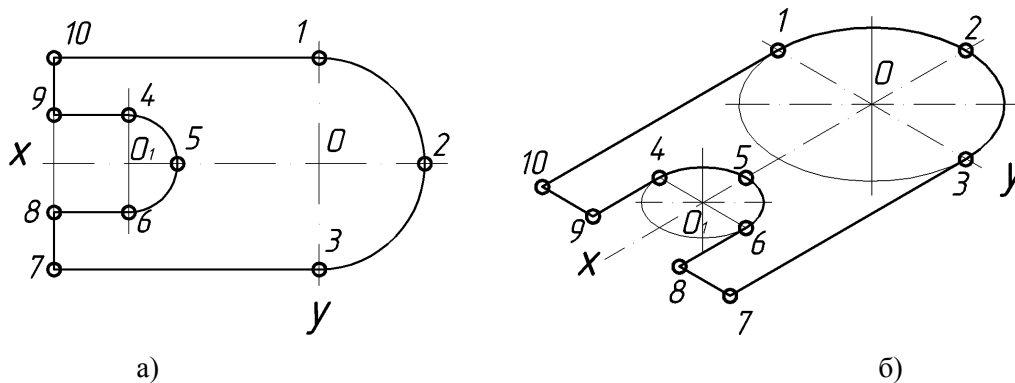


Рис. 29. Построение сопряжений:

а) на комплексном чертеже; б) в прямоугольной изометрической проекции

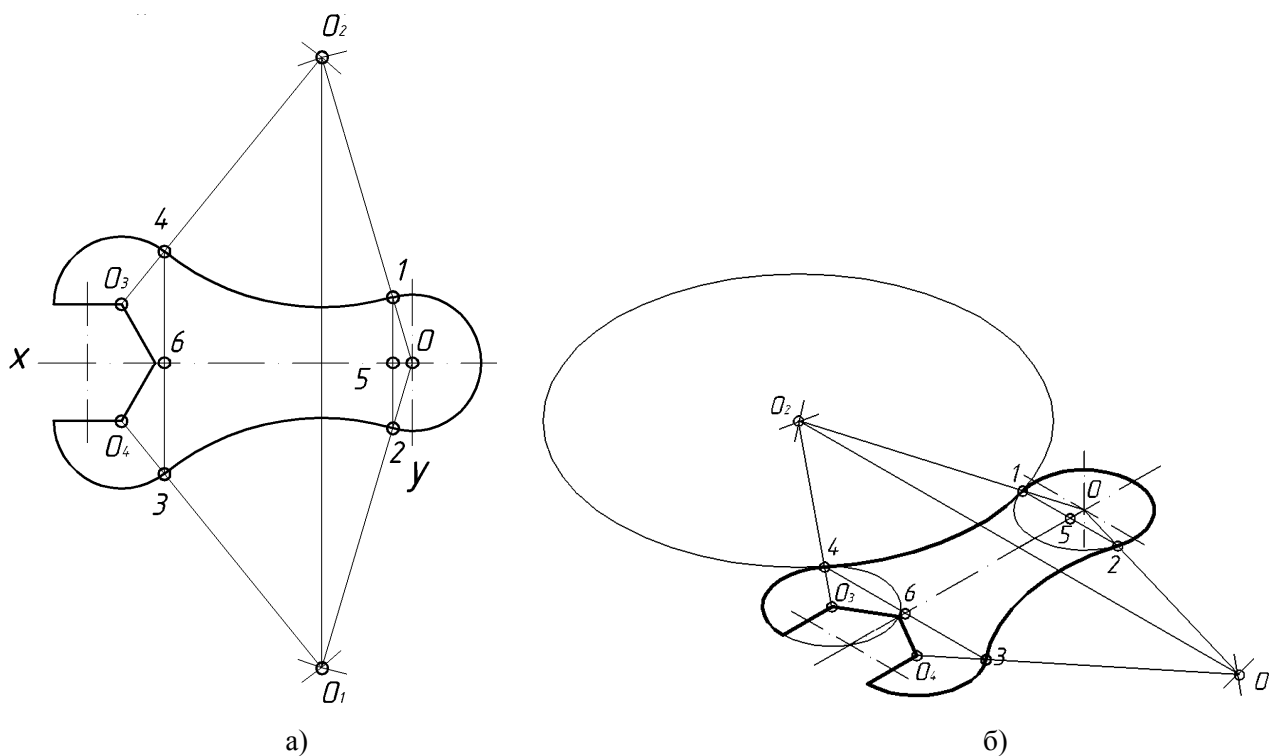


Рис. 30. Построение сопряжений:

а) на комплексном чертеже; б) в прямоугольной изометрической проекции

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ЛИНИЙ

Кривые линии, как плоские, так и пространственные, в аксонометрических проекциях строятся по точкам (исключением являются окружности, параллельные плоскостям проекций). На кривых линиях задается необходимое количество точек, каждая из которых строится по координатам.

На рис. 31 показано построение плоской незакономерной кривой в прямоугольной диметрической проекции, которое выполняется в следующей последовательности:

- отнесем данную кривую AB к натуральной системе координат $Oxyz$;
- отметим на кривой точки $1, 2, 3, \dots$ и определим их ортогональные координаты (рис. 31а);
- по координатам x и y точек $A, 1, 2, 3, \dots$ построим их *вторичные проекции* $a_p, 1_p, 2_p, 3_p, \dots$ (рис. 31б);
- из вторичных проекций точек проведем прямые, параллельные аксонометрической оси Oz , и отложим на них отрезки, равные значению соответствующих аппликат точек;
- соединив найденные аксонометрические проекции точек $A, 1, 2, 3, \dots$ получим аксонометрическую проекцию кривой AB .

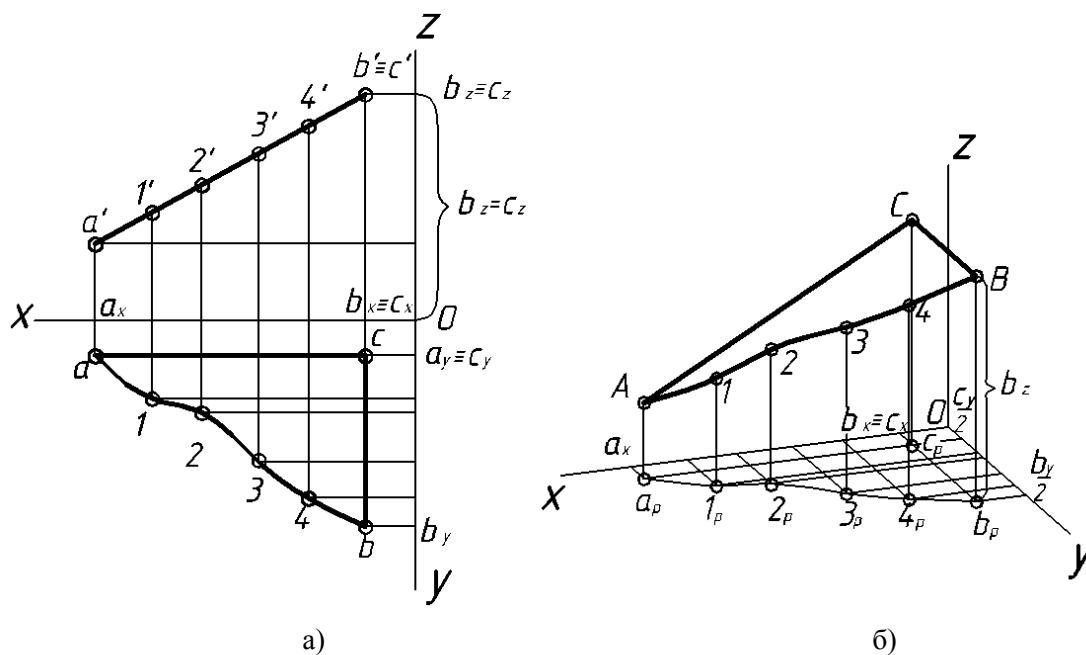


Рис. 31. Построение незакономерной кривой:

а) на комплексном чертеже; б) в прямоугольной диметрической проекции

На рис. 32 дано построение цилиндрической винтовой линии (пространственной кривой) в прямоугольной изометрической проекции. На комплексном чертеже на горизонтальную плоскость кривая проецируется в окружность, а на фронтальную – в виде синусоиды (рис. 32а). В прямоугольной изометрической проекции построение начинают с вторичных проекций точек, принадлежащих овалу, после чего выстраивают соответствующие точкам аппликаты вдоль оси Oz .

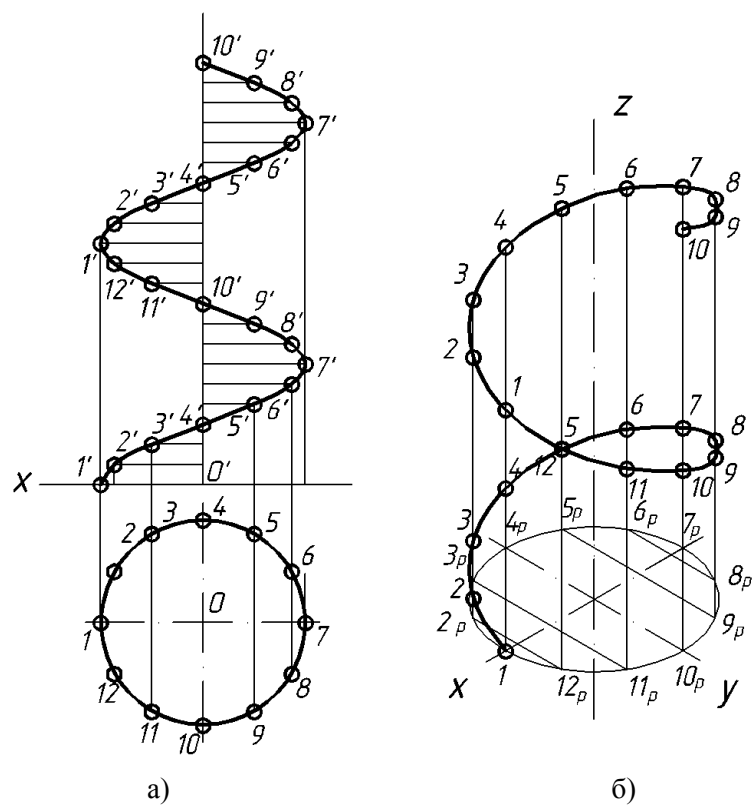


Рис. 32. Построение винтовой линии:

а) на комплексном чертеже; б) в прямоугольной изометрической проекции

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Форма многих деталей представляет собой сочетание простых геометрических тел. Поэтому для выполнения чертежей необходимо знать, как правильно изображаются геометрические тела. Аксонометрические проекции, как правило, строят на основе комплексных чертежей.

Рассмотрим на отдельных примерах построение различных поверхностей в аксонометрических проекциях.

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОГРАННИКОВ

Изображение многогранников в аксонометрической проекции следует начинать с основания, построение которого выполняется по тем же правилам, что и для плоских фигур. Затем из вершин надо провести боковые ребра, параллельные друг другу у призмы и пересекающиеся в заранее построенной точке, называемой вершиной, у пирамиды. На рис. 33 призма усечена фронтально проецирующей плоскостью P . Построив в аксонометрической проекции нижнее основание, из полученных вершин A, B, C, \dots, F проведем прямые, параллельные оси Oz , и отложим на них отрезки $A-1 = a'-1', B-2 = b'-2', C-3 = c'-3', \dots, F-6 = f'-6'$. Соединив точки 1, 2, 3, ..., 6 между собой и изобразив невидимые ребра штриховыми линиями, получим изображение усеченной призмы в прямоугольной изометрической проекции.

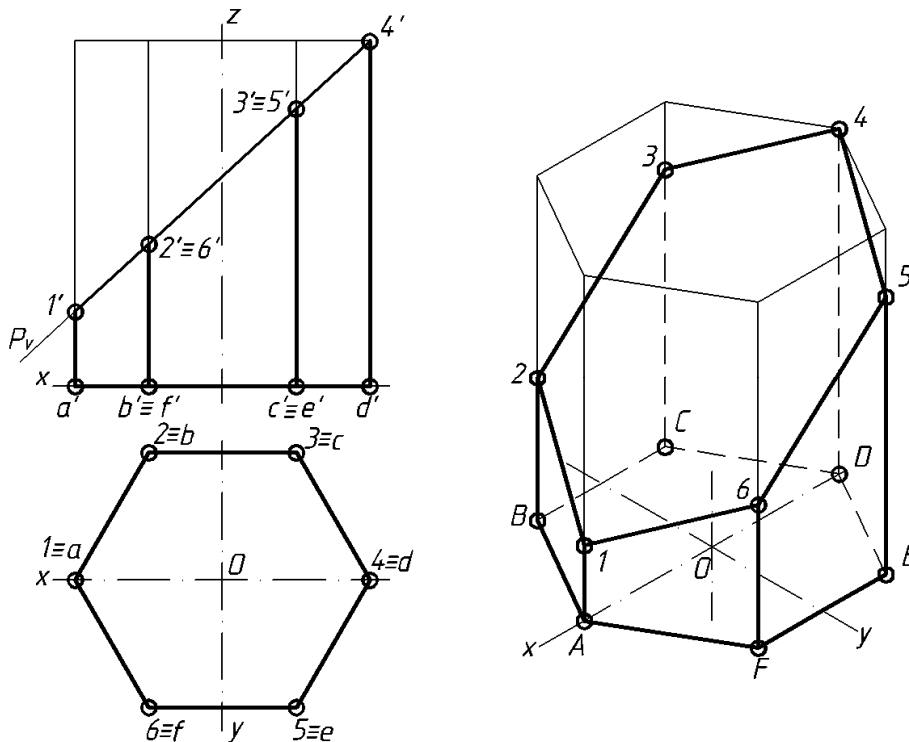


Рис. 33. Построение усеченной призмы

А теперь рассмотрим построение усеченной пирамиды (рис. 34). Построив нижнее основание и вершину S по координатам, соединим полученные точки. Затем найдем вторичную проекцию сечения на аксонометрической плоскости $1_p - 2_p - 3_p - 4_p - 5_p$, из точек которой проведем прямые, параллельные оси Oz , до пересечения с соответствующими ребрами пирамиды в точках 1, 2, 3, 4, 5.

Это и будет изображение усеченной пирамиды в прямоугольной изометрической проекции.

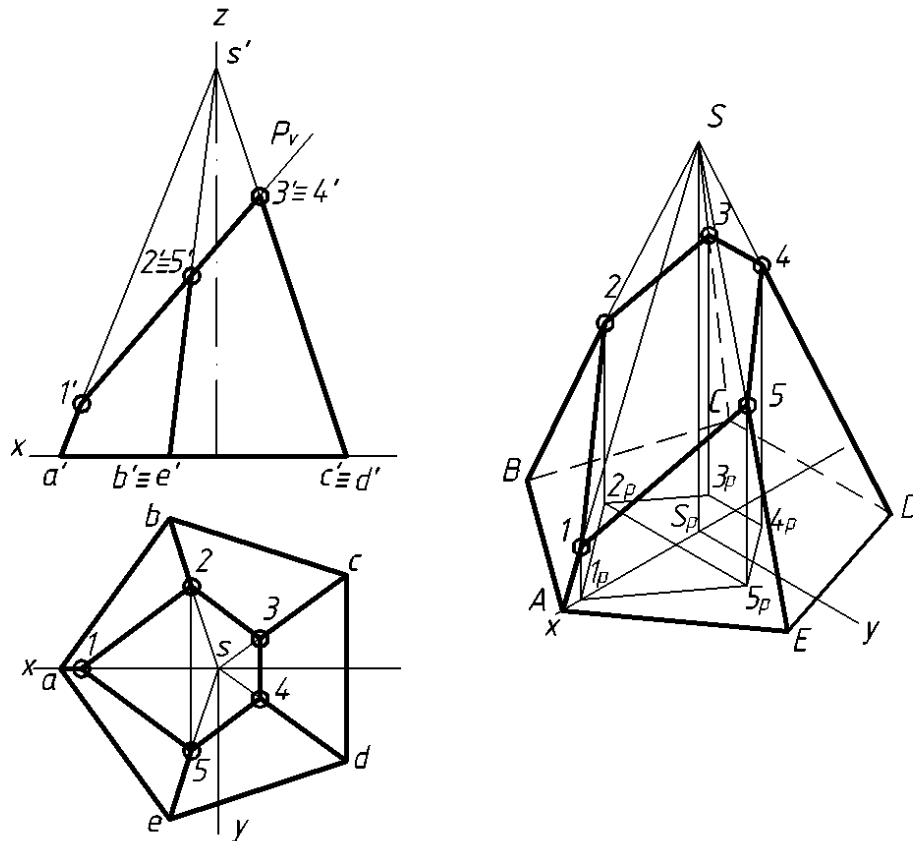


Рис. 34. Построение усеченной пирамиды

ПОСТРОЕНИЕ ЦИЛИНДРОВ

На рис. 35, 36 изображены прямоугольные изометрическая и диметрическая проекции прямых круговых цилиндров.

Сначала построим основания цилиндров в виде овалов, а затем из крайних точек больших осей овалов проведем касательные прямые, параллельно осям цилиндров. Эти отрезки определяют положение крайних образующих.

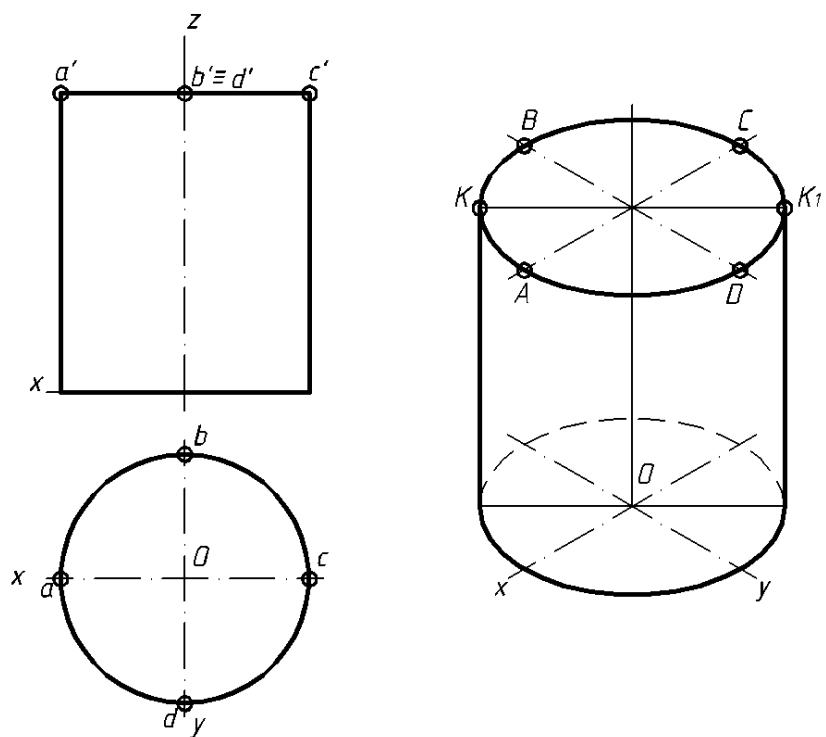


Рис. 35. Построение прямоугольной изометрической проекции цилиндра

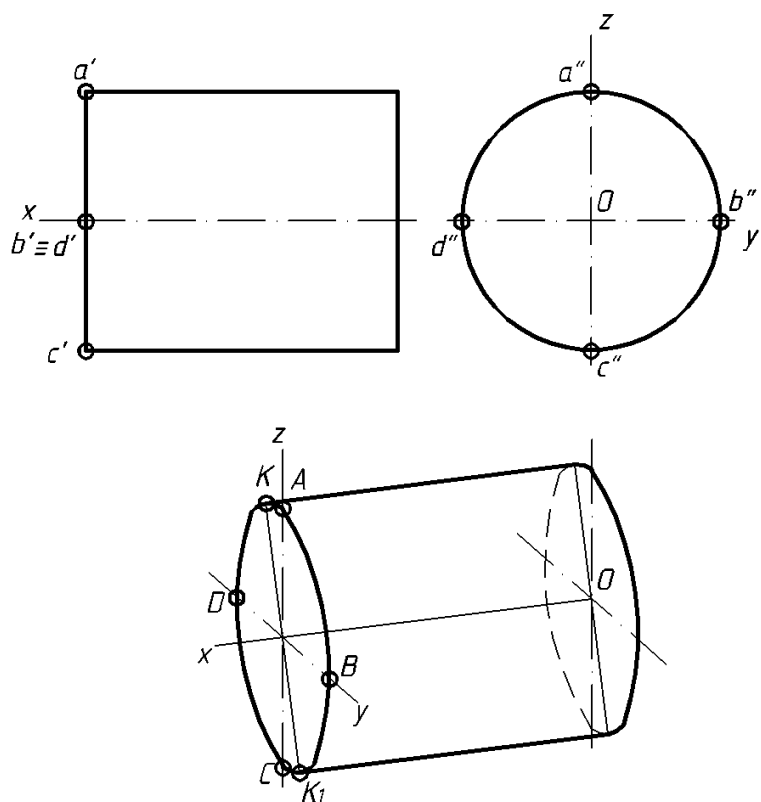


Рис. 36. Построение прямоугольной диметрической проекции цилиндра

ПОСТРОЕНИЕ КОНУСА

На рис. 37 изображена прямоугольная изометрическая проекция конуса, основание которого расположено в горизонтальной плоскости проекций. После нахождения вершины S следует провести очерковые образующие, касательные к основанию. Необходимо обратить внимание на то, что в отличие от цилиндра очерковые образующие конуса не проходят через крайние точки большой оси овала и расположены выше нее (точки K и K_1).

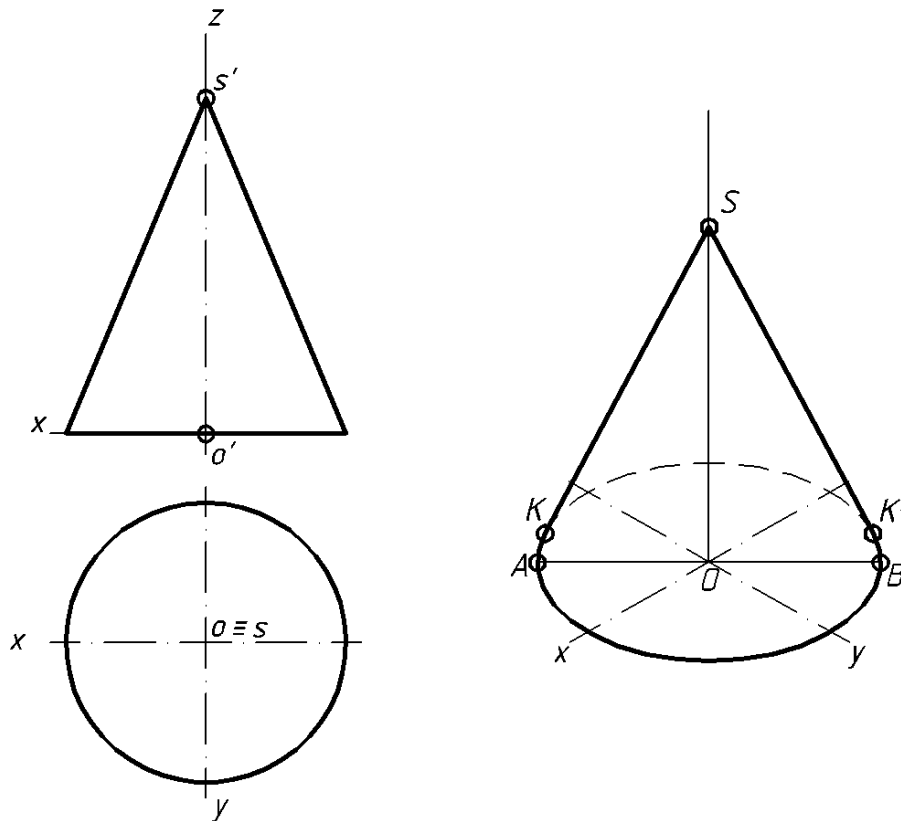


Рис. 37. Построение прямоугольной изометрической проекции конуса

ПОСТРОЕНИЕ СФЕРЫ

В любой аксонометрической проекции очерком сферы (шара) будет окружность. Для прямоугольной изометрической проекции диаметр очерка сферы $D = 1,22d$, а для прямоугольной диметрической проекции $D = 1,06d$, где d – диаметр сферы на комплексном чертеже.

Для наглядности аксонометрической проекции, кроме очерка, покажем несколько проекций меридианов и параллелей. На рис. 38 представлена прямоугольная изометрическая проекция шара с изображением двух взаимно перпендикулярных меридианов и экватора с вырезом одной восьмой части поверхности. Эллипсы меридиональных сечений параллельны фронтальной и профильной плоскостям проекций.

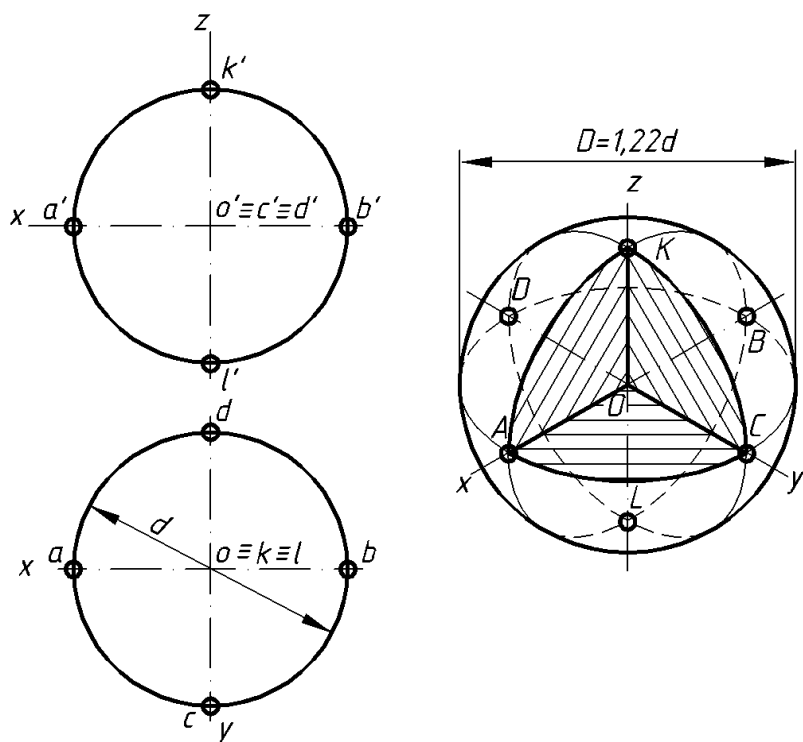


Рис. 38. Построение прямоугольной изометрической проекции сферы с вырезом одной восьмой части поверхности

ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ

Очерки эллипсоидов, торовых поверхностей, параболоидов, однополостных и двуполостных гиперboloидов и некоторых других поверхностей следует строить *методом сечений*. Для этого изображаемую поверхность рассекают несколькими плоскостями, расположенными перпендикулярно оси вращения поверхности. Эти плоскости пересекут поверхность по окружностям, которые в прямоугольных аксонометрических проекциях изображаются в виде овалов. Построив достаточное количество овалов, проведем контурную кривую, огибающую сечения и представляющую собой очерк заданной поверхности.

На рис. 39 дано построение очерка эллипсоида вращения, где обозначены сечения 1, 2, 3 эллипса с большой осью KK_1 , которая определена по сопряженным диаметрам эллипса AB и 1–1.

Пример построения прямоугольной изометрической проекции глобоида приведен на рис. 40. Перпендикулярно оси вращения проведено несколько горизонтальных сечений, которые в аксонометрической проекции изображены в виде овалов, а затем построены очерковые кривые, огибающие эти овалы.

Пример прямоугольной изометрической проекции поверхности вращения произвольного вида (вазы) показан на рис. 41.

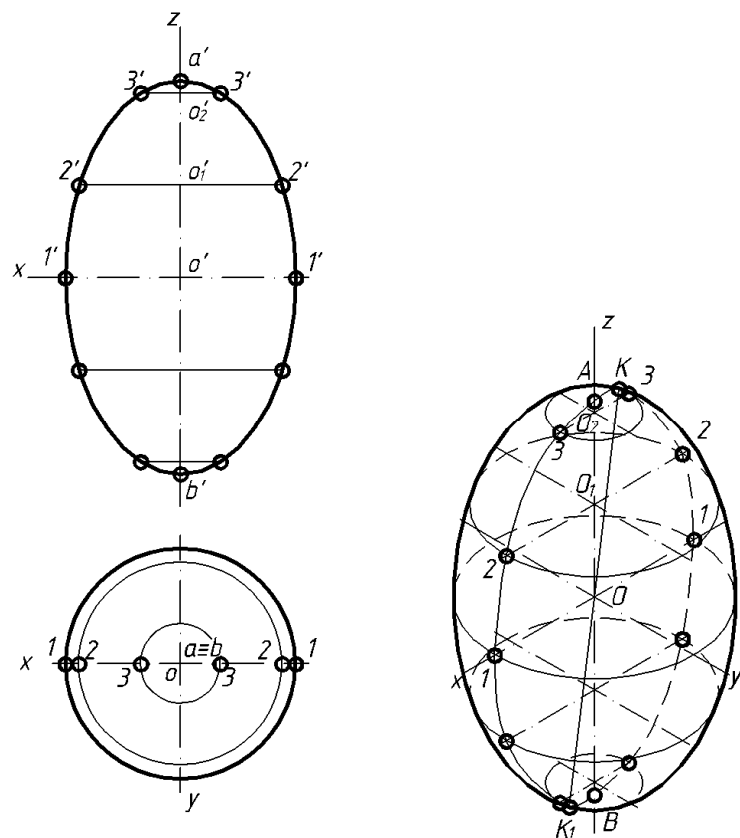


Рис. 39. Построение прямоугольной изометрической проекции эллипсоида

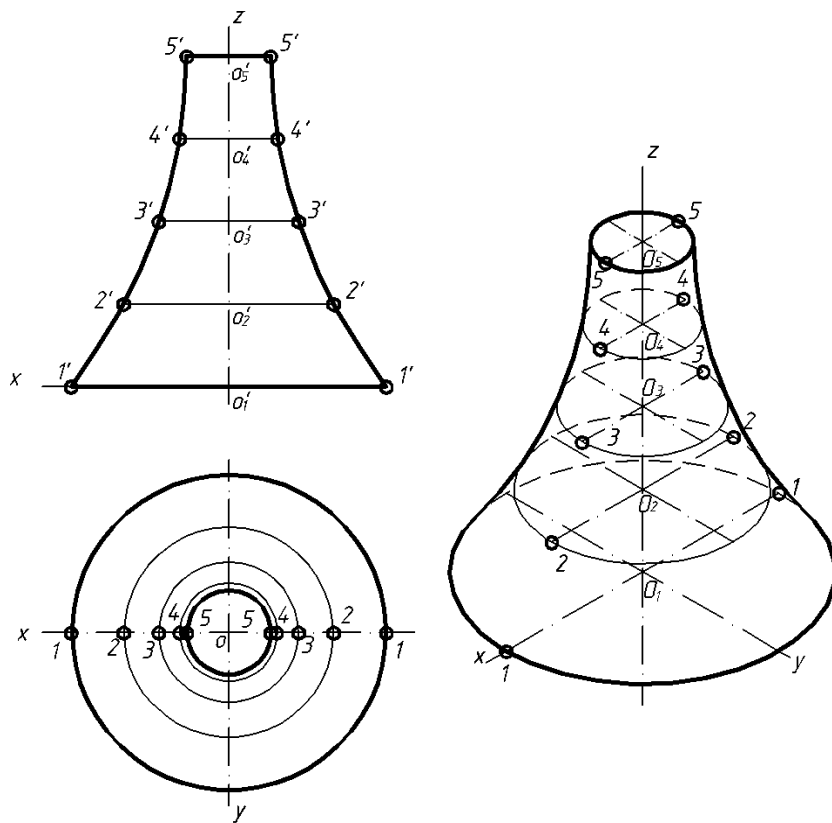


Рис. 40. Построение прямоугольной изометрической проекции глобоида

Построение начинаем с аксонометрических осей, на которых строим овалы соответствующих размеров и, огибая их, с помощью лекала вычерчиваем контур вазы.

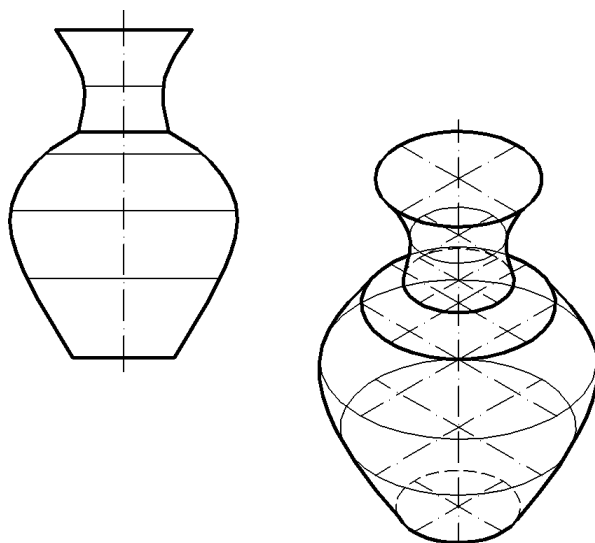


Рис. 41. Построение прямоугольной изометрической проекции вазы методом сечений

ПОСТРОЕНИЕ КРУГОВОГО КОЛЬЦА

Изображение аксонометрической проекции кругового кольца (открытый тор) выполняем в следующей последовательности (рис. 42):

- строим направляющую (круговую ось тора) радиуса R , которая представляет собой овал для координатной плоскости xOy , с большой осью перпендикулярной оси Oz ;
- вычерчиваем в виде овалов две торцевые окружности тора, расположенные параллельно фронтальной плоскости проекций zOx , большая ось которых перпендикулярна Oy ;
- вписываем достаточное количество сфер, диаметр которых равен большой оси ранее построенных овалов, т. е. $1,22d$, а их центры расположены на направляющей;
- при помощи лекала проводим очерки тора, представляющие собой кривые, огибающие вписанные сферы.

Очерк кругового кольца на рис. 45 также построен методом вписанных сфер, но теперь центры O_1 и O_2 , взятые произвольно на круговой оси тора, найдены в аксонометрии при помощи координат (в данном случае x и z), а затем уже вписаны проекции сфер, диаметр которых равен большой оси овала, т. е. $1,22d$.

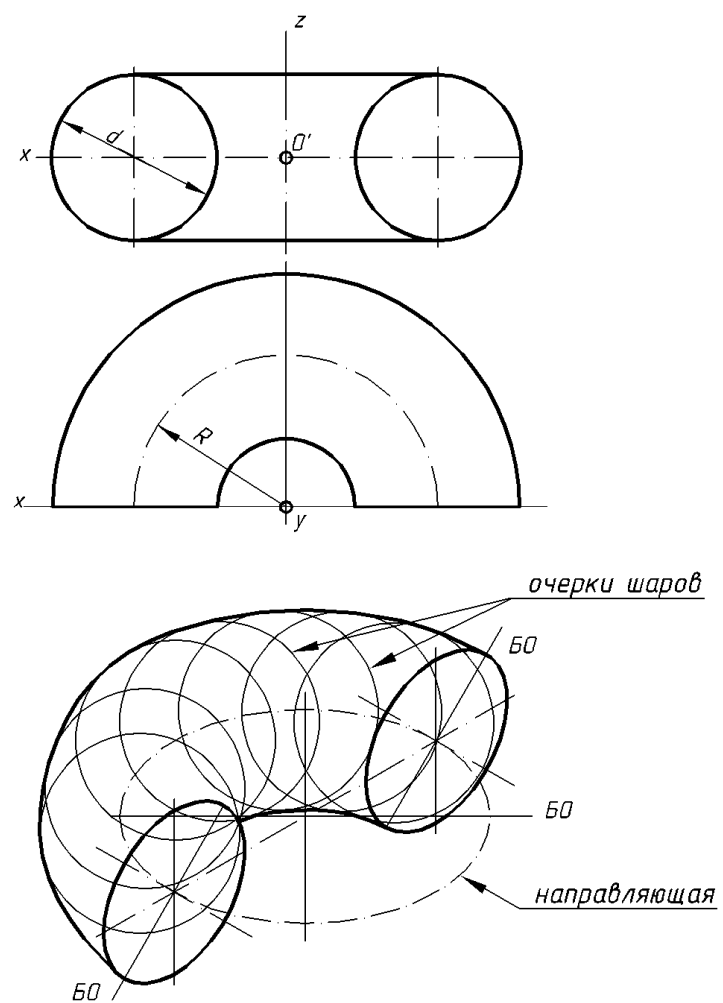


Рис. 42. Построение прямоугольной изометрической проекции
кругового кольца методом вписанных сфер

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТЯМИ

Линии пересечения поверхностей плоскостями строят при использовании комплексного чертежа, на котором вначале получаем ряд точек, принадлежащих линии пересечения, а затем эти точки по координатам переносим на аксонометрический чертеж. Полученные проекции точек соединяем при помощи лекала.

Рассмотрим несколько примеров построения линии пересечения различных поверхностей плоскостями.

На рис. 43 изображен цилиндр в прямоугольной изометрической проекции. Цилиндр пересекают две плоскости: профильная плоскость P – по прямоугольнику, фронтально проецирующая Q – по эллипсу.

Аксонометрическая проекция эллиптической кривой построена по точкам, каждую из которых находим при помощи координатной ломаной (см. пример построения точки 3).

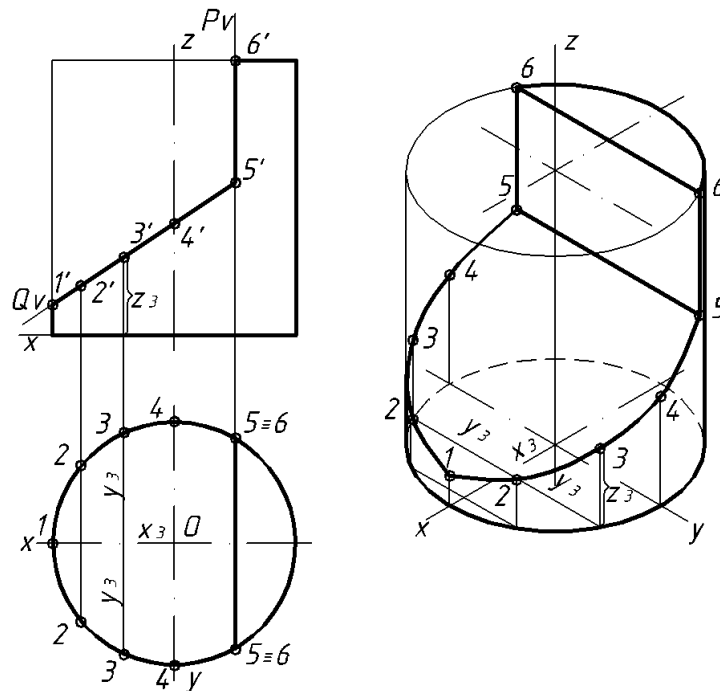


Рис. 43. Прямоугольная изометрическая проекция
цилиндра с двумя плоскими срезами

Построение линии пересечения конуса горизонтально проецирующей плоскостью P в прямоугольной диметрической проекции показано на рис. 44. Линией пересечения является гипербола, т. к. плоскость P одновременно параллельна двум образующим конуса. Вершина гиперболы, точка 3, лежит на середине отрезка 1–5. Построение остальных точек понятно из чертежа.

На рис. 45 в прямоугольной изометрической проекции изображен тор, пересеченный двумя фронтально проецирующими плоскостями P и Q . Аксонометрическую проекцию кривых линий, полученных в результате пересечения, строим по отдельным точкам, которые соединяем по лекалу плавной кривой. На чертеже показано построение при помощи координатной ломаной линии точек 1 и 2. Остальные точки линии пересечения строим аналогично.

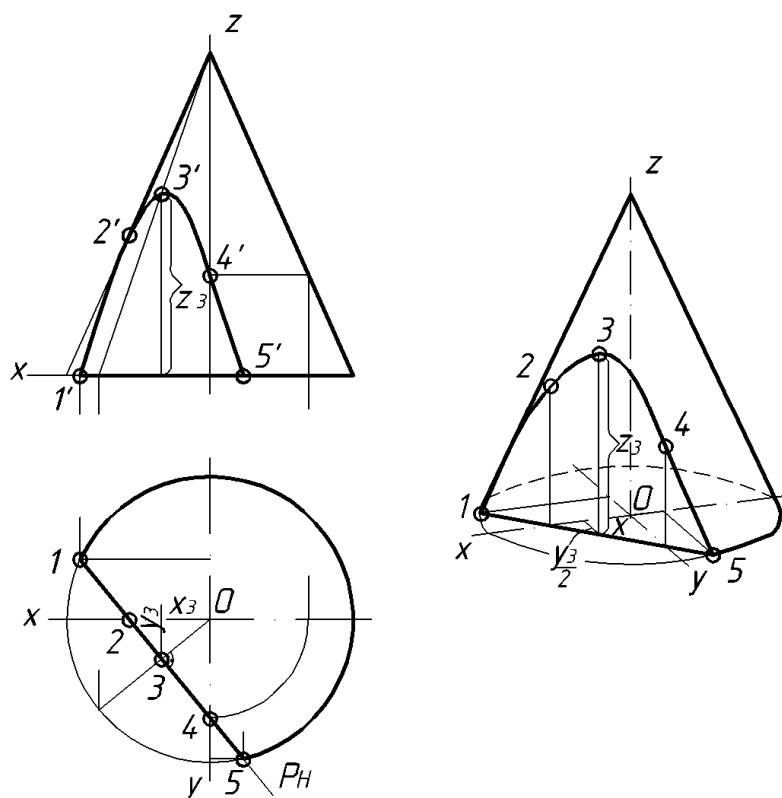


Рис. 44. Прямоугольная диметрическая проекция прямого кругового конуса с плоским срезом

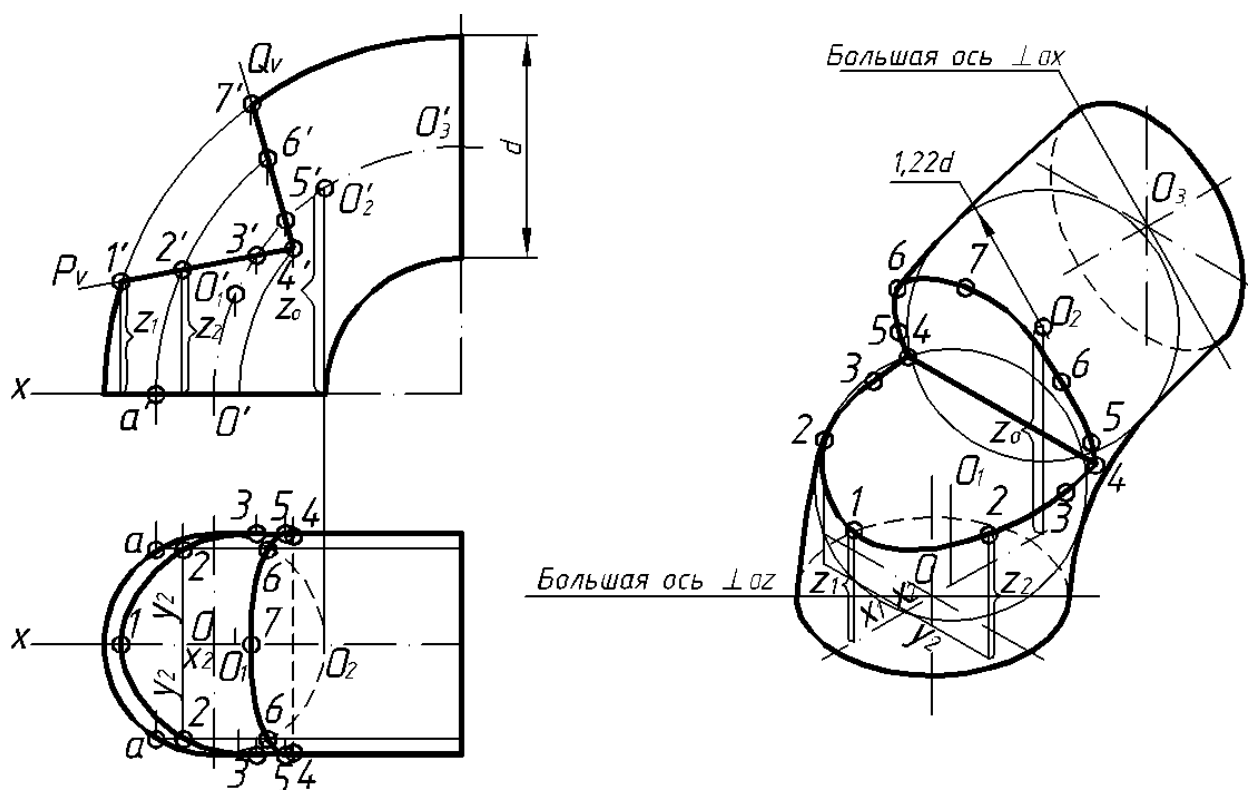


Рис. 45. Прямоугольная изометрическая проекция тора с плоскими срезами

ВЗАИМНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Линии пересечения поверхностей можно построить двумя способами:

- найти искомые точки с помощью плоскостей-посредников, которые пересекают поверхности по простейшим для построения линиям (рис. 46, 47, 48);
- при помощи координатной ломаной с использованием комплексного чертежа найти несколько точек, принадлежащих линии пересечения (рис. 49).

Построение линии пересечения двух призм дано на рис. 46. Вертикальную пятиугольную призму расsection двумя горизонтальными плоскостями, проведенными через верхнюю грань треугольной призмы и ее нижнее ребро CN . При этом в сечении получим два пятиугольника, равные основаниям вертикальной призмы. По найденным сечениям наметим линии пересечения грани $ABED$ с гранями вертикальной призмы. Это ломаная $B_0 - 1_0 - 5_0 - 4_0 - E_0$. Теперь зафиксируем точки проницания ребра CN – точки C_0N_0 .

Точки пересечения ребер 1–6, 5–10 и 4–9 с гранями треугольной призмы определим при помощи вертикальных секущих плоскостей, проходящих через эти ребра. В результате получим точки $6_0, 10_0, 9_0$.

Найденные точки встречи ребер двух призм соединим между собой. Как видно из рис. 46, контур такого пересечения представляет собой замкнутую ломанную линию.

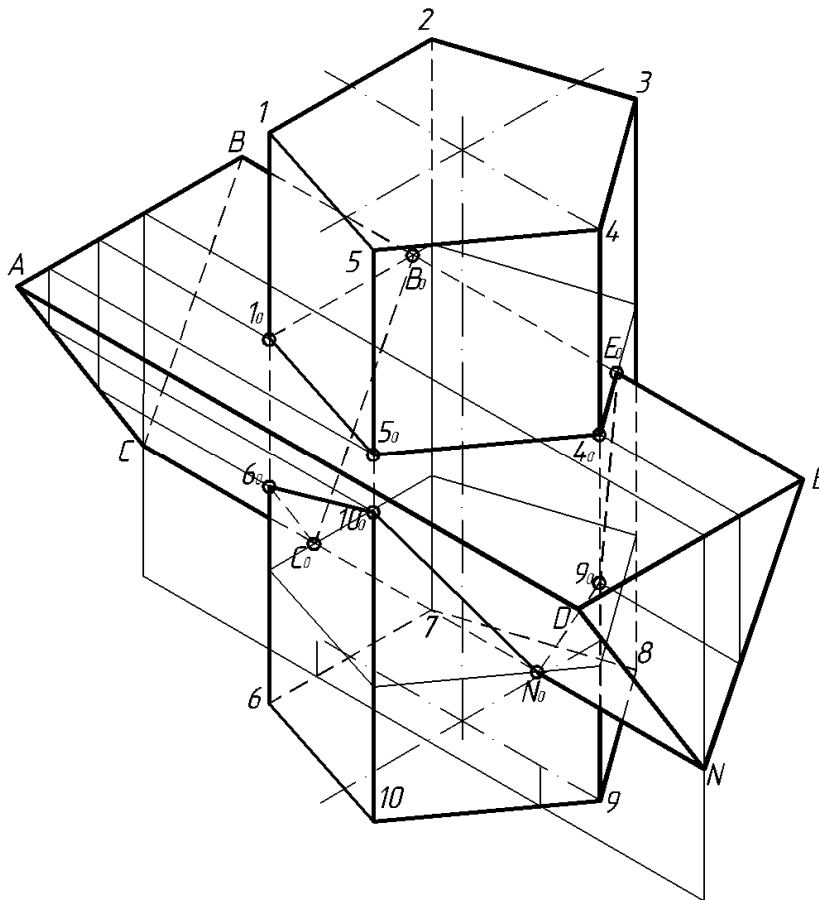


Рис. 46. Линии пересечения двух многогранников
в прямоугольной изометрической проекции

На рис. 47 выполнено построение линии пересечения полусферы с вертикальной призмой при помощи вспомогательных секущих плоскостей P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 . Такие плоскости рассекнут призму по прямоугольникам, параллельным ребрам, полусферу – по окружностям, проецирующимся в аксонометрической проекции в овалы. В результате получим точки взаимного пересечения поверхностей 1, 2, 3, 4, ..., 10, которые соединим по лекалу в замкнутую ломанную линию.

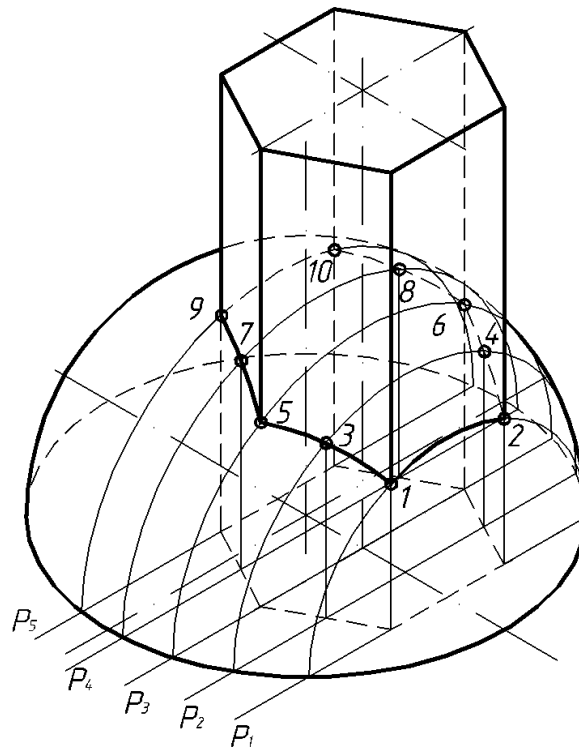


Рис. 47. Построение линии пересечения полусферы с вертикальной призмой в прямоугольной изометрической проекции

Построение линии пересечения двух цилиндров в прямоугольной диметрической проекции при помощи метода секущих плоскостей показано на рис. 48. Оси цилиндров пересекаются и соответственно параллельны координатным осям Ox и Oz .

Вспомогательные секущие плоскости проведем параллельно образующим обоих цилиндров, т. е. параллельно плоскости $V(xOz)$. Плоскость P_1 пересечет поверхности цилиндров по образующим 1, в пересечении которых получены точки A и B . Точки K, L, M, N , лежащие на очерковых образующих, найдены с помощью секущих плоскостей P_5 и P_6 . Нижние точки C и D построены при помощи плоскостей P_2 и P_3 .

Теперь рассмотрим построение линии пересечения прямого кругового цилиндра с полусферой (рис. 49).

Сначала решим эту задачу на комплексном чертеже, а затем принадлежащие найденной кривой точки перенесем при помощи координатной ломаной на аксонометрическую проекцию. Подробное построение точек 5 и 6 показано на чертеже.

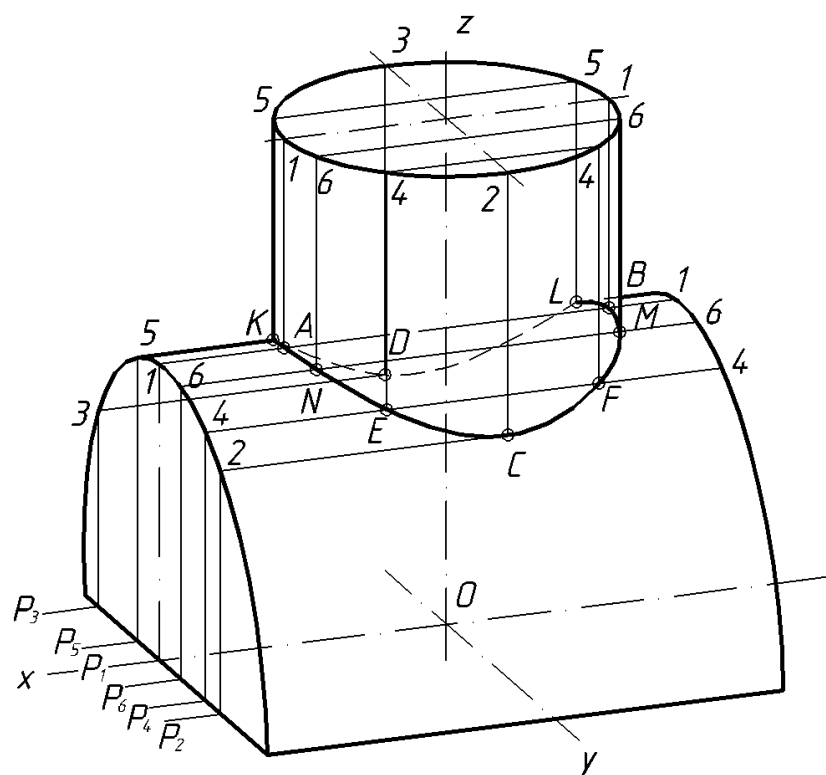


Рис. 48. Построение линии пересечения двух цилиндров при помощи метода секущих плоскостей в прямоугольной диметрической проекции

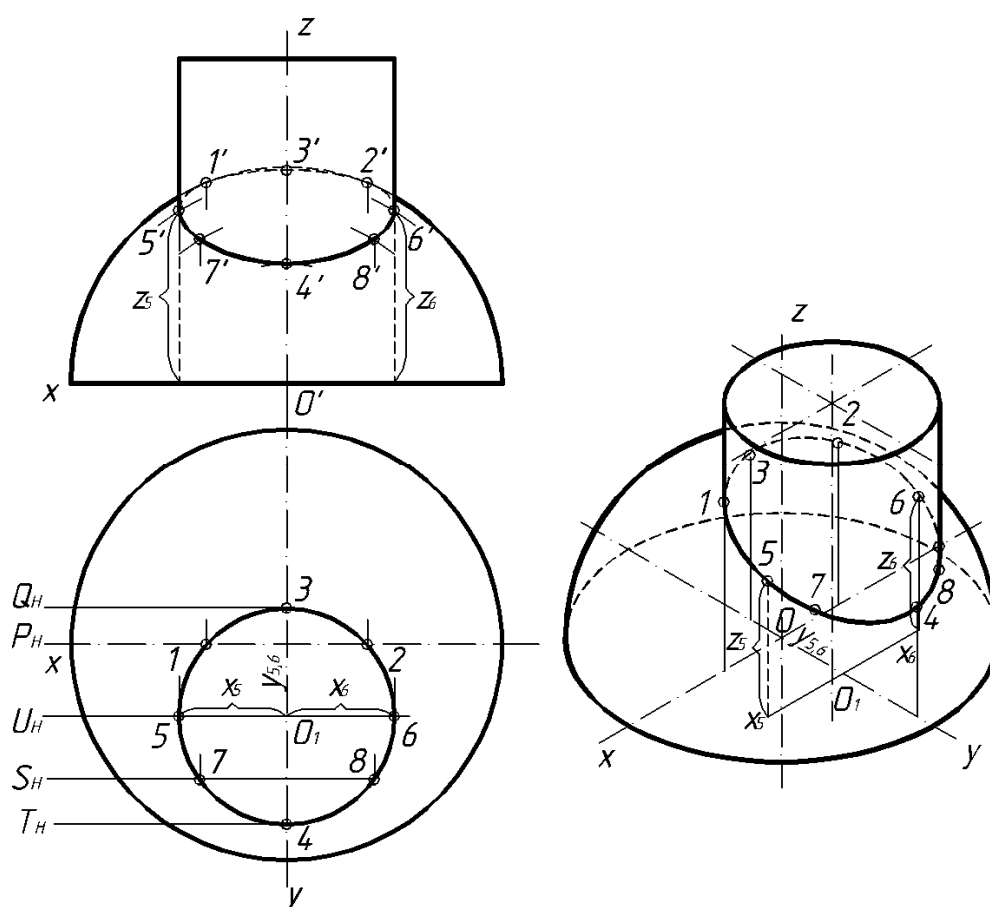


Рис. 49. Линия пересечения цилиндра с полусферой в прямоугольной изометрической проекции

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ

При построении аксонометрического изображения какого-либо предмета необходимо придерживаться такой последовательности:

- Выбрать вид аксонометрической проекции в зависимости от формы изображаемого предмета. Например, прямоугольную диметрическую проекцию следует применять в тех случаях, если изображаемый предмет имеет форму квадратной призмы или содержит подобные элементы (рис. 26б). Косоугольные аксонометрические проекции удобны при изображении предметов, содержащих большое число окружностей, расположенных во взаимно параллельных плоскостях (рис. 21, 23, 25).

- Зафиксировать положение предмета относительно направления осей, т. е. определить, какие стороны должны быть видимы. Если аксонометрическая проекция строится по комплексному чертежу, то положение предмета на нем и в аксонометрической проекции должно быть одинаково ориентировано относительно осей.

- На чертеже предмета задать проекцию прямоугольных осей координат так, чтобы было обеспечено наиболее простое построение его точек.

- Провести аксонометрические оси.

- На осях выполнить аксонометрическую проекцию предмета одним из существующих способов.

Способ «наращивания частей» предмета (рис. 50):

- выявление и построение изображения наиболее крупной части предмета;
- «наращивание» на изображении остальных частей предмета.

Способ «удаления частей» предмета (рис. 51):

- построение изображения обобщенной формы предмета – заготовки;
- удаление частей предмета (сначала внешних, а затем и внутренних).

Комбинированный способ представляет собой сочетание двух первых, и порядок действий будет определяться формой предмета.

Применение того или иного способа следует выбирать с учетом формы предмета. Поэтому прежде чем приступить к вычерчиванию, следует провести анализ формы предмета, мысленно расчленив его на отдельные геометрические тела, а затем уже выбрать соответствующий способ построения.

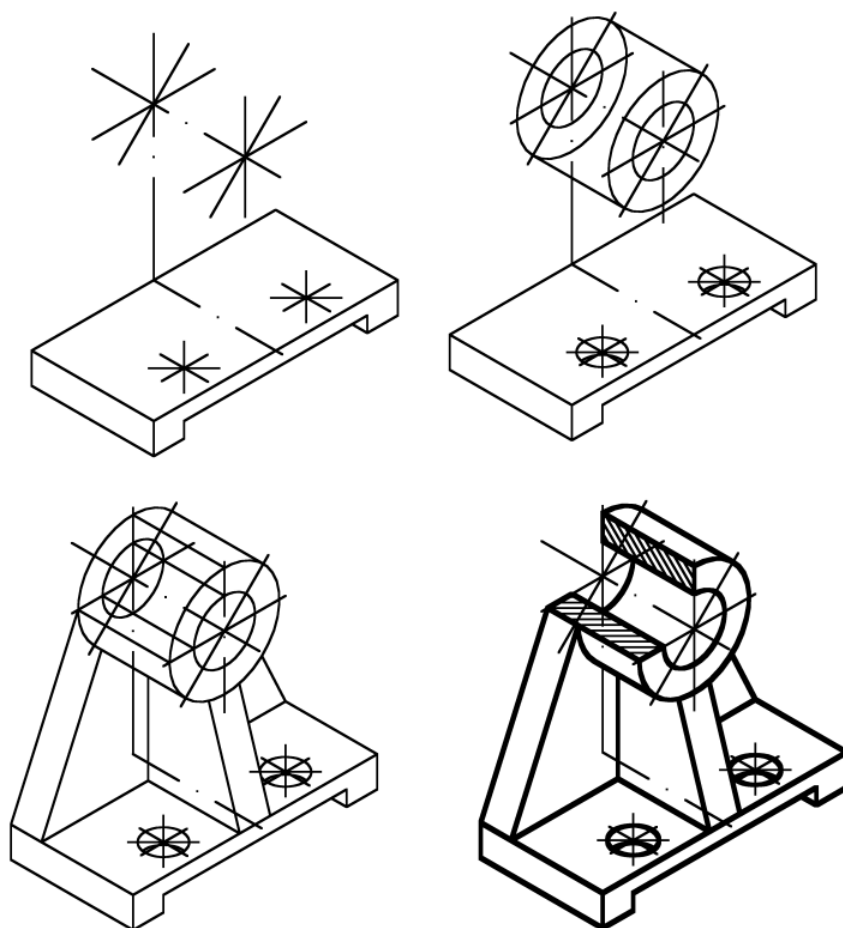


Рис. 50. Построение аксонометрических проекций детали методом «наращивания частей»

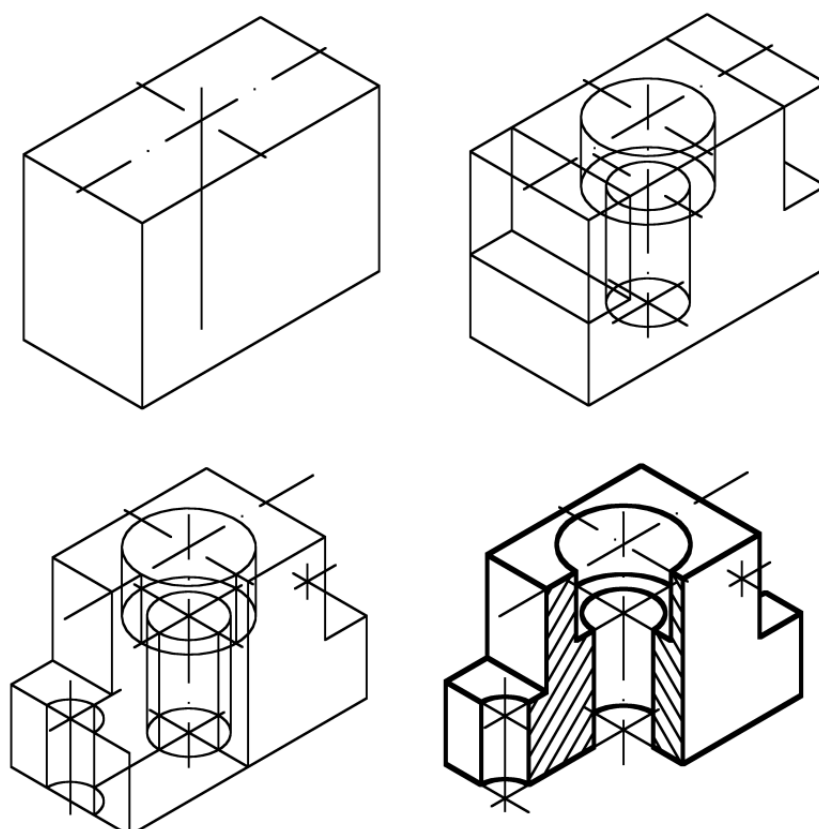


Рис. 51. Построение аксонометрической проекции детали методом «удаления частей»

УСЛОВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Разрезы в аксонометрических проекциях служат для выявления внутренних форм изображаемого предмета.

Плоскости разрезов располагают параллельно координатным плоскостям. Чаще используют две или три взаимно перпендикулярные секущие плоскости. Как правило, они совпадают с плоскостями симметрии детали и соответствуют плоскостям разрезов, выполненных на комплексном чертеже (рис. 50, 51).

В аксонометрических проекциях полные продольные или поперечные разрезы не применяют, а показывается четвертная (рис. 51) или восьмая часть выреза детали (рис. 38).

Согласно ГОСТ 2.317–69 линии штриховки плоскостей сечений в прямоугольной изометрической проекции наносят параллельно одной из диагоналей квадратов, лежащих в соответствующих координатных плоскостях, стороны которых параллельны изометрическим осям (рис. 52 а, б).

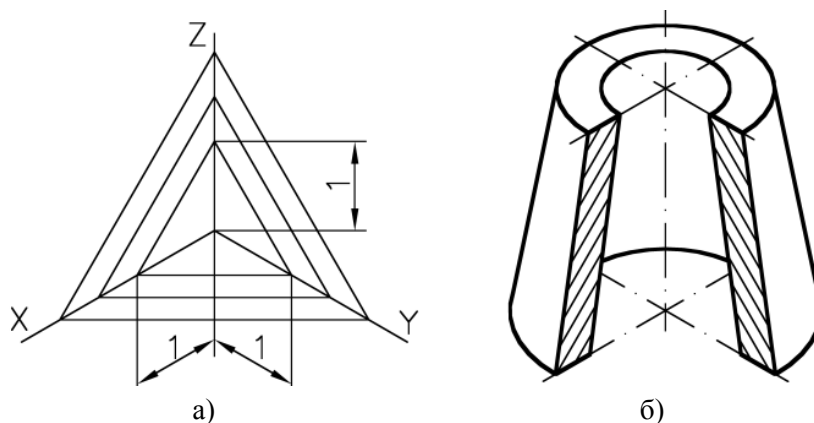


Рис. 52. Штриховка плоскостей разрезов в прямоугольной изометрической проекции:
а) на трёх координатных плоскостях; б) на примере изображения детали

Линии штриховки в прямоугольной диметрической проекции проводят как показано на рис. 53, учитывая, что коэффициент искажения по оси Oy $k_y = 0,5$.

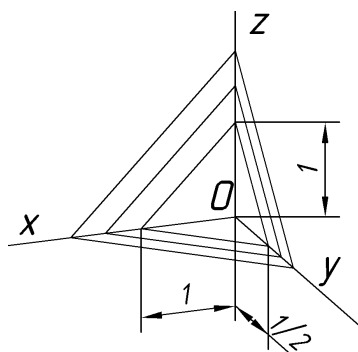


Рис. 53. Штриховка плоскостей разрезов
в прямоугольной диметрической проекции

В аксонометрических проекциях ребра жесткости при продольном разрезе штрихуют (рис. 54).

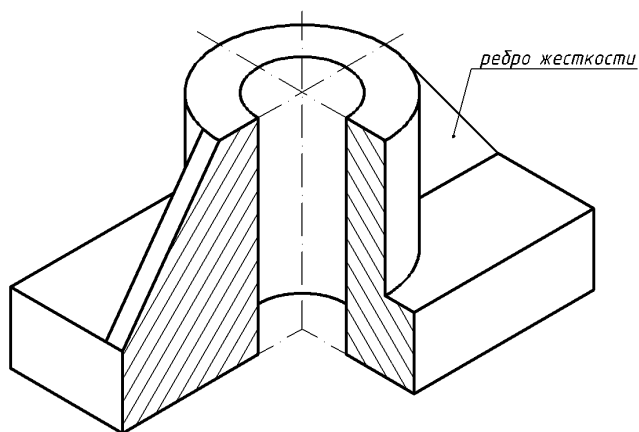


Рис. 54. Пример разреза в прямоугольной изометрической проекции

Вопросы для самопроверки

1. Какие проекции называют аксонометрическими?
2. Какие проекции называют вторичными?
3. Что такое «коэффициент искажения»?
4. По каким признакам производится деление аксонометрических проекций?
5. Какие существуют виды аксонометрических проекций?
6. Чему равны коэффициенты искажения в изометрических и диметрических прямоугольных проекциях?
7. Чему равны коэффициенты искажения в косоугольных аксонометриях?
8. Какая аксонометрическая проекция называется практической?
9. Как построить оси в различных аксонометрических проекциях?
10. Какими методами можно построить аксонометрическую проекцию эллипсоида и кругового кольца?
11. Как построить аксонометрическую проекцию точки?

АКСОНОМЕТРИЯ В ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОМ ИСКУССТВЕ

По наглядности аксонометрия ничуть не уступает художественному рисунку, выполненному по законам перспективы, поэтому её иногда называют *параллельной перспективой*. Но в отличие от перспективы аксонометрические проекции сохраняют метрические характеристики предметов, и именно поэтому искусствоведы подчас ошибочно думают, что аксонометрия имеет ограниченное применение, – только в технической графике при изображении деталей, узлов и т. п.

Но в искусстве «абсолютно» правильных методов не существует¹, и в определенных случаях аксонометрия также «естественна», как и перспектива.

Еще до нашей эры в искусстве Египта, государств Месопотамии зародился этот способ передачи глубины. Сравнивая аксонометрию призмы на рис. 55 с изображениями на рис. 56 становится очевидным общий закон построения, т. е. использование так называемой «вольной» или «условной» перспективы.

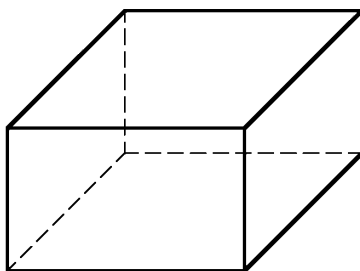


Рис. 55. Косоугольная фронтальная изометрическая проекция призмы

На рис. 56–59 видно, что ряды людей (воины, работники и т. п.) изображались таким образом, что ступни ног всех фигур располагались на одной линии, но при этом размеры по мере удаления от наблюдателя не изменялись – прием «константности». Это же мы видим на примере вертикальных ребер призмы, которые по мере удаления сохраняют величину (рис. 55).

¹ Раушенбах Б. В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. М.: Наука, 1986. 254 с.



Рис. 56. Царевны со священными сосудами. Рельеф гробницы Херуфа в Фивах. XVIII династия. Конец XV в. до н. э.

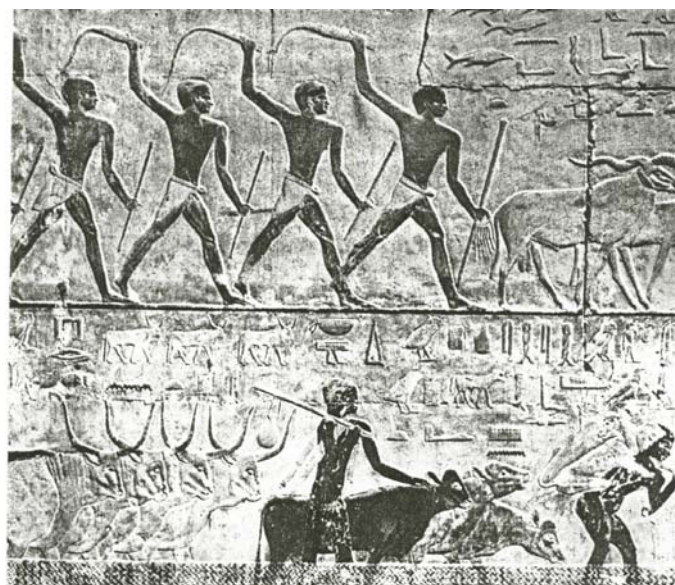


Рис. 57. Возвращение стада. Рельеф гробницы Ти в Саккара. V династия. Середина 3 тыс. до н. э.

Использование системы аксонометрии можно наблюдать и в западном искусстве Античности и Средневековья.

В это время художники не работали с натуры, а изображали предметы обстановки, как правило, в замкнутом пространстве. Но даже если речь шла о пейзажной живописи, то на картине показывали предметы по памяти, т. е. такими, как их наблюдал художник в жизни, а зритель мог узнавать их. При этом изображались не какие-либо конкретные вещи, а их обобщенные образы, для рассмотрения которых человек должен приблизиться на расстояние 2–3 м, а то и ближе. Но на таких малых расстояниях перспектива уже «не работает», т. е. по мере удаления от картины предметы не имеют сужения или точки схода на линии кажущегося горизонта, и глубинные прямые будут оставаться параллельными, как это видит наш глаз.



Рис. 58. Нубийские воины. Фрагмент росписи гробницы Джануни в Фивах. XVIII династия.
Конец XV в. до н. э.



Рис. 59. Египетская фреска.
XV в. до н. э.

В качестве примера приведем фрагмент росписи капеллы Пьетро Лоренцетти (рис. 60), где передний и дальний план построены по законам аксонометрии. Лики ангелов на заднем плане показаны также без перспективных искажений, т. е. размеры фигур остаются постоянными.

В XIII–XIV вв. использование этого метода можно встретить в религиозном искусстве, бытовой живописи, книжной миниатюре Запада.

Рисунки к произведению выполнялись художником на свободном месте, оставленном каллиграфом. Миниатюра иллюстрировала отдельные моменты повествования, усиливая впечатление от того или иного события, описываемого в книге. Все эти рисунки объединяет метод, при котором прямые, уходящие в глубину, остаются параллельными друг другу, т. е. метод аксонометрии (рис. 61, 62).



Рис. 60. Пьетро Лоренцетти. Воскресение.
Роспись капеллы Орсини. 1320–1330-е гг.

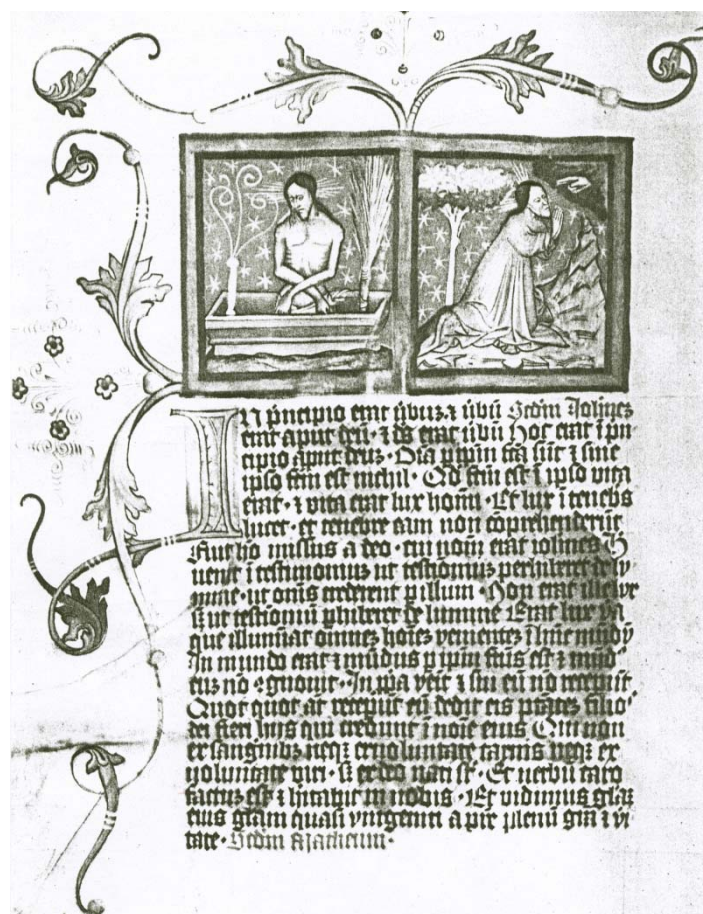


Рис. 61. Книжная миниатюра.
Словакия. Около 1410 г.



Рис. 62. Книжная миниатюра. Словакия. 1400–1420 гг.

Художника не интересовало, как будет выглядеть пространство, он просто изображал отдельные предметы. Такой же способ передачи пространства можно наблюдать на примерах деревянной гравюры более позднего периода (ок. 1500 г., рис. 63, 64).



Рис. 63. Французский мастер. Похороны короля Карла VII.
Иллюстрация к французским хроникам



Рис. 64. Маттео Де Пасти.

Иллюстрация к книге Р. Вальтурия «О военном деле». 1472 г.

В Середине века при использовании достижений Античности на многих алтарных росписях, фресках, иконах, книжных миниатюрах возникает иной способ изображения пространства.

Так на рис. 65 предметы, расположенные в горизонтальных плоскостях, – столешница с рисунком и блюда, изображены без искажений. Фигуры же апостолов и вазы, стоящие на этом же столе, показаны без изменений относительно фронтальной плоскости.



Рис. 65. Фрагмент фрески. XIII в.

В эпоху Возрождения произошел поистине революционный переворот в живописи. Художники предложили новый научный метод линейной перспективы, основанный на законах геометрии и одновременно учитывающий работу глаза и мозга человека. Этой манере рисунка следовали художники, принадлежащие к флорентийской и римской школам: П. делла Франческа, А. Матеньи, Леонардо да Винчи, Микеланджело, Рафаэль.

Большой вклад в теорию перспективы внес гениальный художник и ученый Леонардо да Винчи (1452–1519) – «классическое искусство Ренессанса берет свое начало от Леонардо»². Но даже такой творец теории перспективы нередко прибегал к построениям аксонометрических проекций, что мы можем видеть на его эскизах и чертежах различных механизмов и сооружений, сопровождавших его научные труды и сохранившихся до наших дней.

Надо сказать, что этот период для Флоренции, в частности, был отмечен не только расцветом искусства, но и бурным ростом экономики и промышленности. Леонардо да Винчи, будучи не только художником, но и ученым и инженером, живо откликался на практические запросы современной жизни.

«Тетради Леонардо, в которых так много места отведено искусству, пестрят проектами валяльных, стригальных, прядильных, ткацких и иных машин, чертежами каналов и военной инженерии»².

Художник наряду с перспективными изображениями в своих эскизах и чертежах в основном использовал метод аксонометрии (рис. 66–71), преимущество которого в высокой достоверности и простоте построения. «К концу XVI в. такие изображения приобрели широкое применение в технических рисунках изобретателей Помпео Тарагоне, Витторио Цонка, Джовани Бранка...»³.

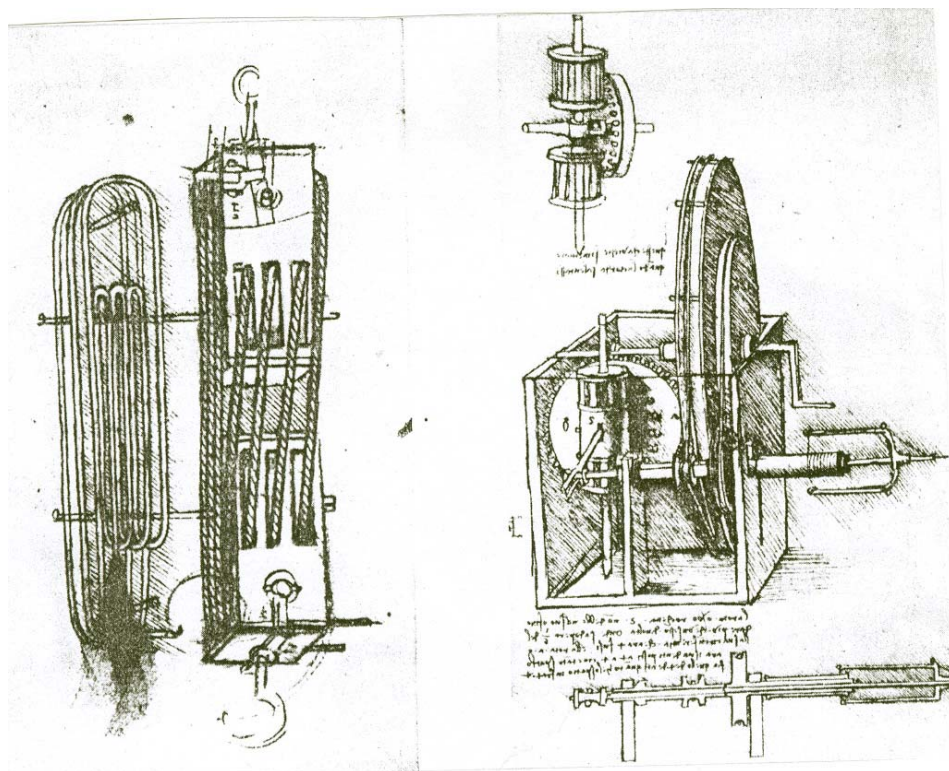


Рис. 66. Леонардо да Винчи.

Чертеж прядильной машины с автоматическим веретеном

² Дживегелов А. Леонардо да Винчи. М.: Искусство, 1974.

³ См.: Елисеев Н. А. Истоки становления и развития основ теории аксонометрии в России до 1950 г. // Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2003. С. 51–57.

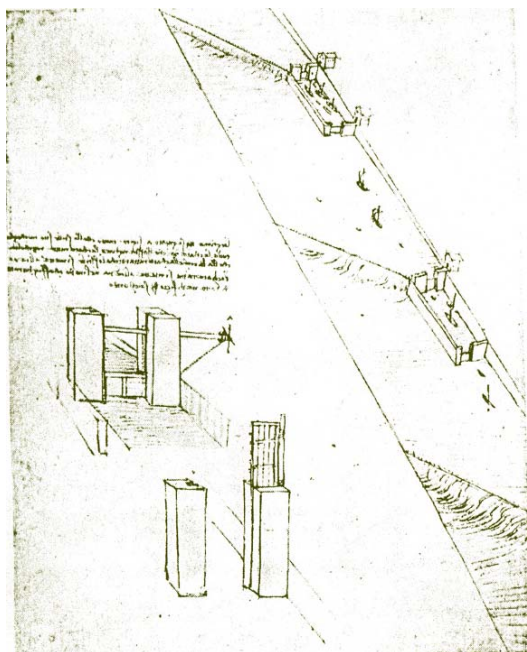


Рис. 67. Леонардо да Винчи.
Проект шлюзов

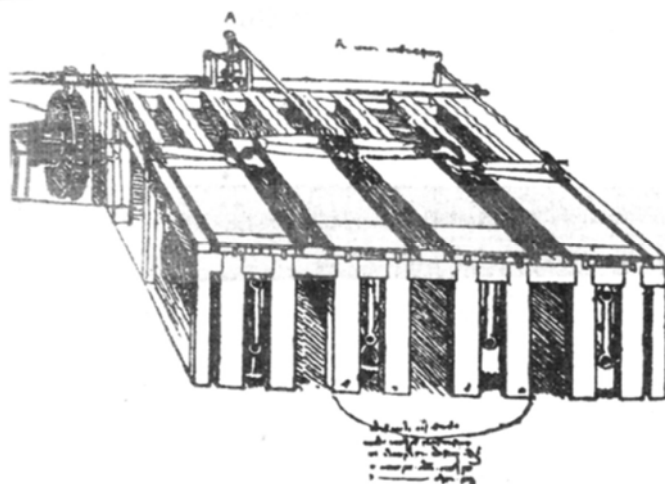


Рис. 68. Леонардо да Винчи.
Проект машины для стрижки сукна

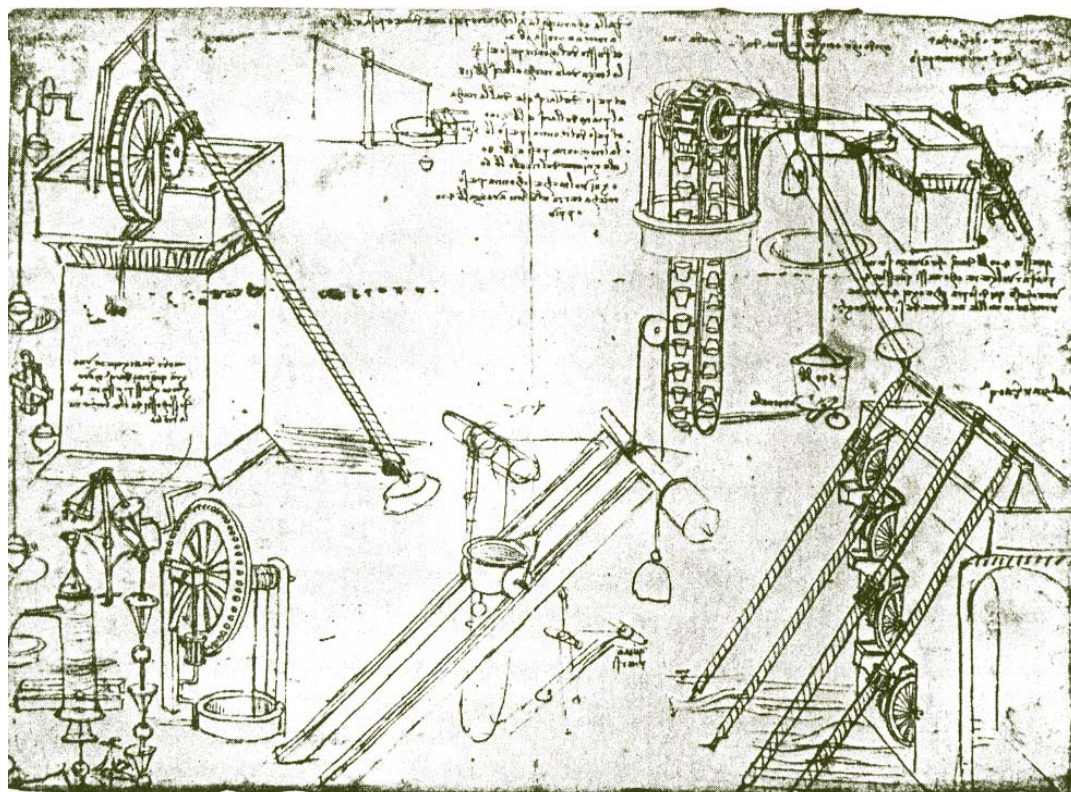
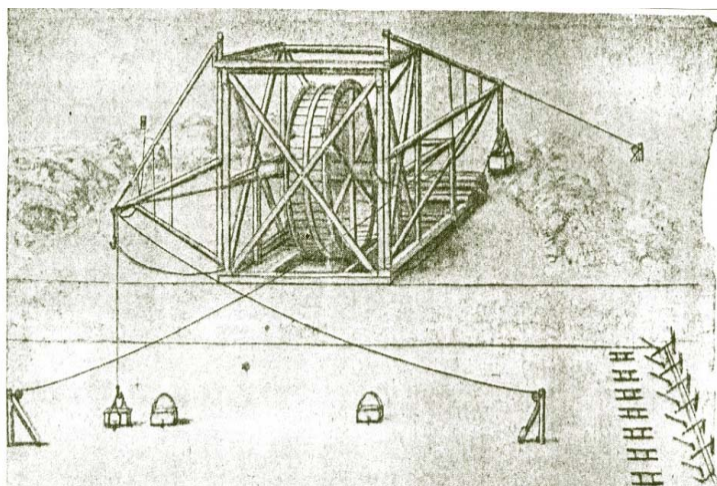
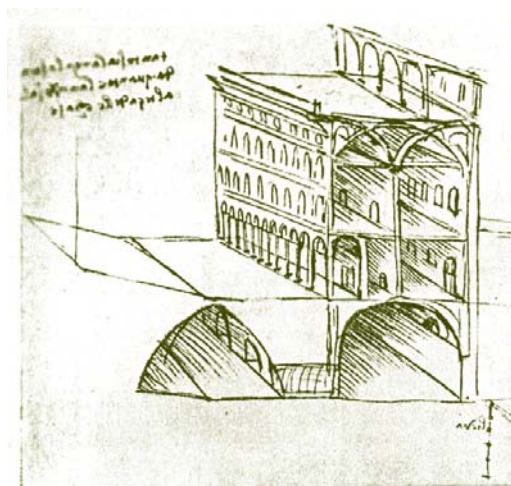


Рис. 69. Леонардо да Винчи.
Устройство для подъема воды при помощи черпальных ведер и резьбы Архимеда



*Рис. 70. Леонардо да Винчи.
Рисунок сухопутного экскаватора
для строительных каналов*



*Рис. 71. Леонардо да Винчи.
Схема «идеального» города
с многоэтажными улицами. 1488 г.*

Великими мастерами линейного рисунка, выполненного серебряным штифтом, были Ян ван Эйк, А. Дюрер, Рафаэль и другие.

Много научных трудов посвятил разработке методов построения перспективы и аксонометрии выдающийся немецкий ученый, гравер и художник Альбрехт Дюрер (1471–1528). Рассмотрим рис. 72: на нем автор изобразил Святого Иеронима, чеканящего икону. Стол, за которым он работает, скамеечка, потолочные доски и многое другое показаны в перспективе. Однако предметы обстановки, находящиеся на небольшом расстоянии от картины, например, основание колонны, книги, художник построил в аксонометрии, где параллельные прямые, идущие в глубину, не имеют точки схода на линии горизонта.

При этом композиция «не рассыпается» на отдельные предметы, что еще раз подтверждает: «Аксонометрия является совершенно законным вариантом единой научной системы перспективы, это наиболее рациональный способ изображения очень близких предметов.

<...> Античность и Средневековье не ставили перед собой геометрическую задачу целостного изображения пространства. В те времена решалась не задача передачи на плоскости картины пространства, а лишь задача передачи формы, объема отдельных предметов»⁴

Это имеет отношение не только к западному, но и к восточному искусству (Китай, Япония, Корея). На рис. 73–76 все предметы обстановки и архитектурные элементы ближнего плана изображены в системе аксонометрии, что полностью оправдано и совпадает с нашим видением.

Но зачастую и дальние планы в таком искусстве также показывали в аксонометрии (рис. 77–79).

⁴ Раушенбах Б. В. Указ. соч.



Рис. 72. Альбрехт Дюрер. Иероним в келье. 1521 г.



Рис. 73. Моробу Хисикава. Ватанабэ, охраняющий сундук с рукой демона



Рис. 74. Харунобу Судзуки.
Чайный павильон Осэн



Рис. 75. Харунобу Судзуки.
Девушки, пытающиеся напоить петуха



Рис. 76. Эйсэн Кейсай.
Станция Нумацу

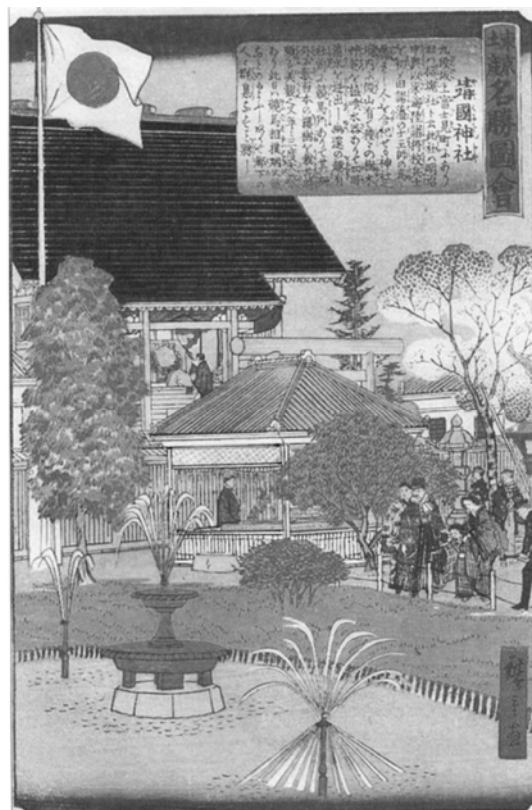


Рис. 77. Хиросигэ III Утагава.
Парк в Уэно

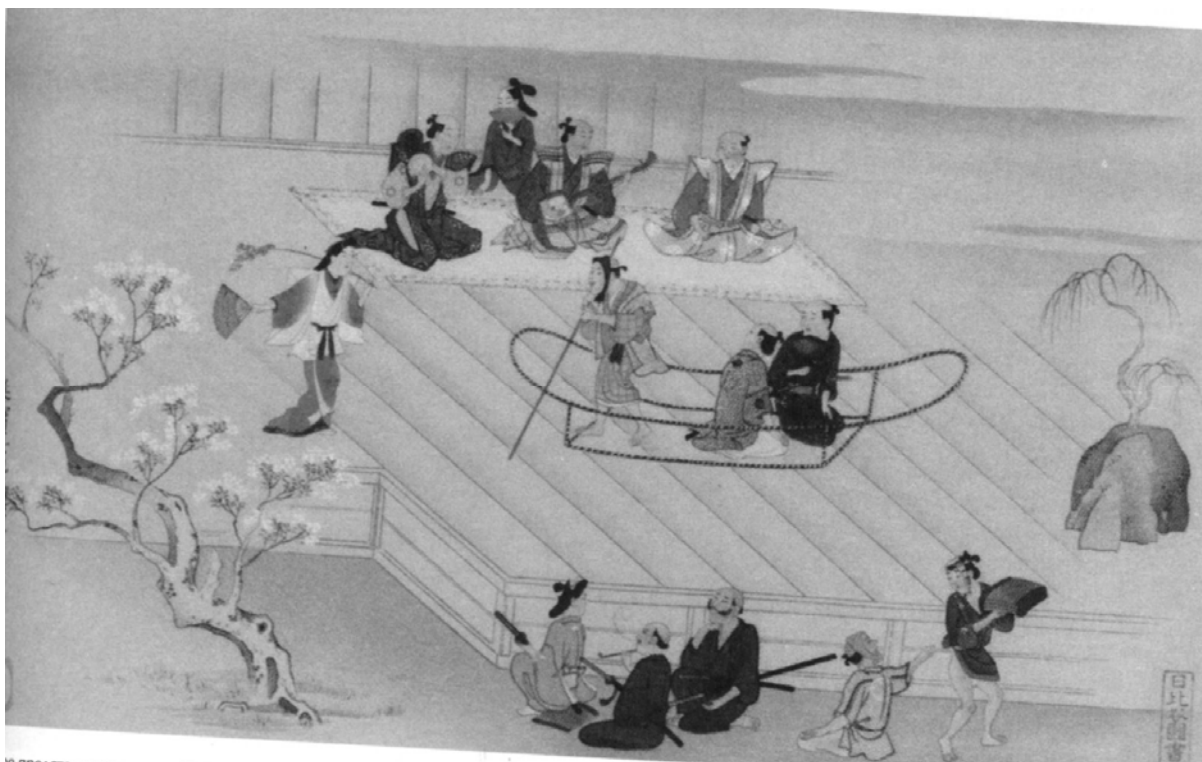


Рис. 78. Моробу Хисикава. Уличное представление театра Кабуки



Рис. 79. Хокусай. Водопад Амида. 1820–1832 гг.

В миниатюрной живописи арабского Востока мы также можем встретить этот же метод изображения окружающего пространства, что связано непосредственно с историей. В 1258 г. Багдад был занят внуком Чингисхана – Хулагуханом. На этом практически завершилось завоевание Ирана и Ирака. Вместе с монголами в регионе появились китайские ремесленники и живописцы, которых монгольская армия возила с собой. Поэтому, начиная с сер. XIII в., в оформлении исламских книг чувствуется сильное влияние китайской миниатюры⁵.

Но в отличие от последней, восточная миниатюра не знает светотеней и полутонов, а пространство условно «распластано» по листу. Обычно события делятся на два – три эпизода, по которым создаются самостоятельные композиции. Фигуры людей показаны без перспективного искажения, но тем не менее это адекватно воспринимается, т. к. глубина изображается методом перекрытия, когда близкое заслоняет дальнее. Все строения и предметы обстановки также показаны в системе аксонометрии (рис. 80–82).

Причем на примере этих иллюстраций мы видим пример применения косоугольной горизонтальной изометрической проекции, характерным признаком которой является сохранение неискаженными очертаний, расположенных в горизонтальной плоскости. Так, на каждом из уровней этих миниатюр рисунок плитки на полу показан без изменения формы, что можно также наблюдать на рис. 25, 65, 84, 85.



Рис. 80. Ангелы посещают Хизрхана. XVI в. Фрагмент

⁵ Сулейменова Ф. Миниатюра Востока // Наше наследие. 1991. № 5. С. 28–37.

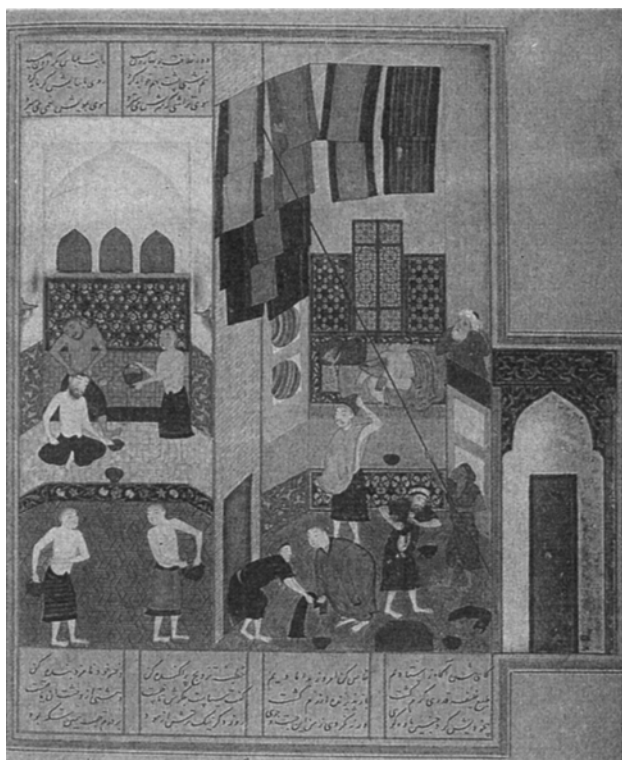


Рис. 81. В бане. 1495 г. Герат. Мирак

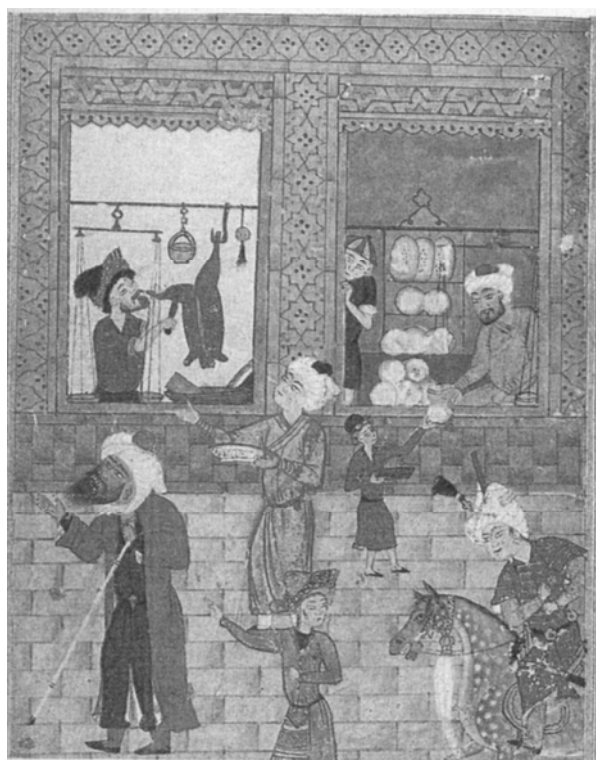


Рис. 82. На базаре. XVI в.

«Самобытное развитие получила условная аксонометрия в русской иконописи XIV–XVI вв., а также в миниатюрах Лицевых летописей XII–XVII вв.

В XVI–XVII вв. в иконописи и особенно книжной миниатюре появляются сюжеты с отображением технических объектов и технологических процессов: литье колоколов, строительство домов и т. п. с применением условной косоугольной и прямоугольной аксонометрии»⁶.

В современном искусстве при изображении небольших предметов с близких расстояний можно наблюдать аксонометрию, например, в таком жанре, как натюрморт.

В качестве примера приведем полотно П. В. Кузнецова «Натюрморт с хрусталем» (рис. 83). «Аксонометричность изображения хорошо видна из конфигурации лежащей на столе квадратной салфетки, а учет художником эффектов, связанных с действием механизма константности форм, привел к тому, что верхняя часть вазы с фруктами как бы развернута на зрителя»⁷.

В картине Е. Б. Лодыженского «Публичка» также не используется научная перспектива (рис. 84). Паркет, стол, стулья, книги показаны без сужений, т. е. все, что параллельно плоскости пола или лежит в ней, художник изобразил без искажений. Такой же принцип построения лежит в основе косоугольной горизонтальной изометрической проекции, где все элементы, параллельные горизонтальной плоскости проекций, показаны без искажений (рис. 25, 83).

Аналогичный прием наблюдаем на дальнем плане (рис. 84), где предметы обстановки, фигуры людей показаны без изменений относительно фронтальной плоскости проекций, но «глубина» воспринимается правильно за счет перекрывания дальних предметов ближними.

⁶ Раушенбах Б. В. Указ. соч.

⁷ Там же.

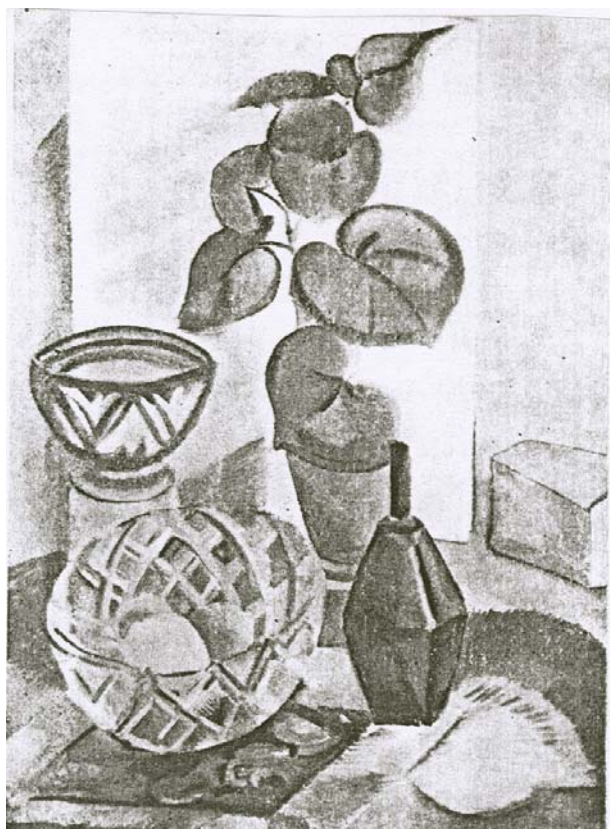


Рис. 83. П. В. Кузнецов. Натюрморт с хрусталем. 1922 г.



Рис. 84. Е. Б. Лодыженский. «Публичка» (деталь). 1968–1973 гг.

Можно приводить множество примеров, и все они будут подтверждать то, что «аксонометрия – это система научной перспективы для изображения небольших предметов, наблюдаемых с близких расстояний, преимущественно в закрытых помещениях»⁸.

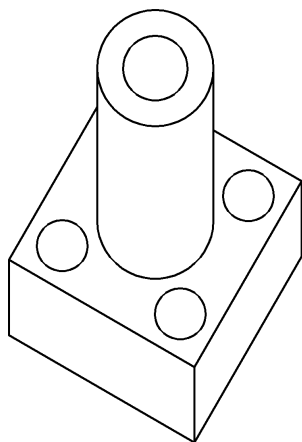


Рис. 85. Пример изображения детали в косоугольной горизонтальной изометрической проекции

⁸ Раушенбах Б. В. Указ. соч.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

«АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ»

При написании учебного пособия авторы стремились помочь студентам понять и усвоить раздел начертательной геометрии «АксонOMETрические проекции», развить пространственное воображение и научить свободно пользоваться данным методом, применяя его в практической деятельности.

Учебный материал изложен в логической последовательности, своевременно даны все необходимые понятия и определения, каждый рассматриваемый вопрос сопровождается чертежами, по которым легко понять содержимое.

Учитывая различную степень подготовленности студентов, изложение материала начинается с простых задач.

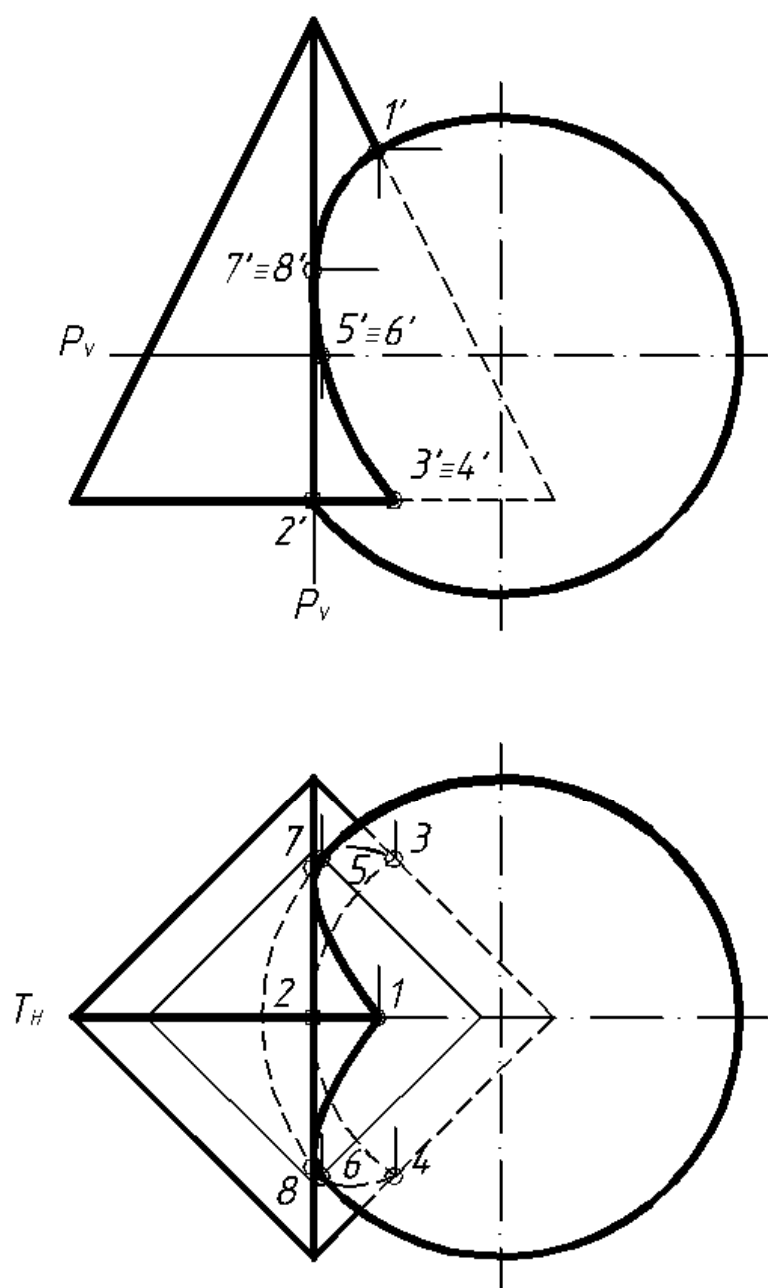
Если студент внимательно прочтет это учебное пособие, то нет сомнения в том, что он сможет ответить на поставленные вопросы и самостоятельно выполнить предлагаемое ниже задание.

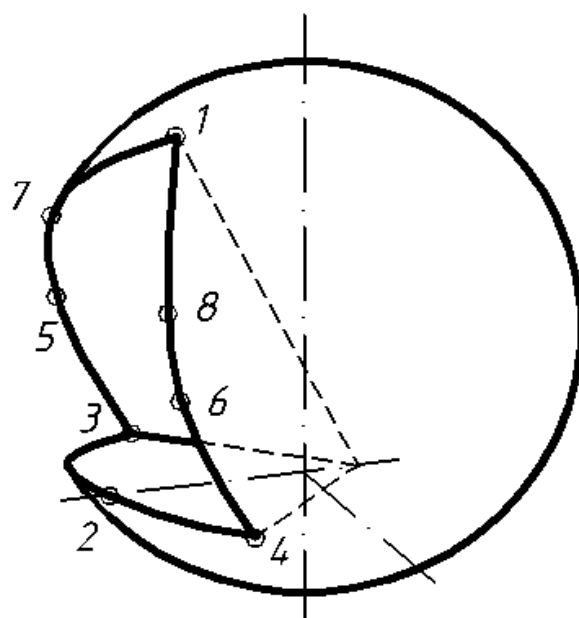
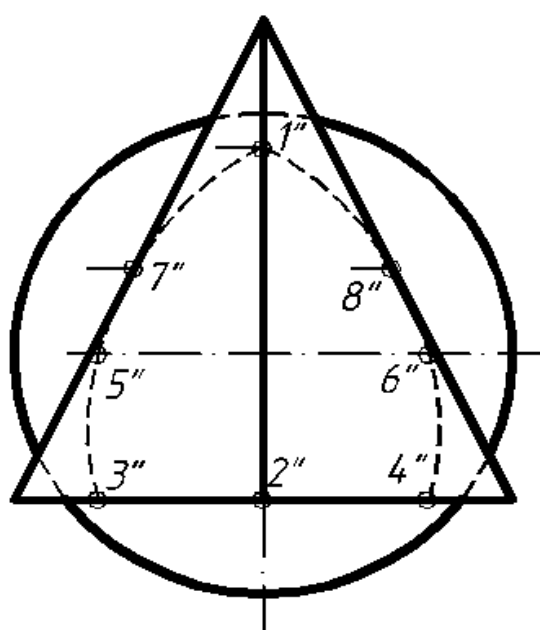
Порядок выполнения:

1. На листе формата А3 (297×420) начертить рамку чертежа и основную надпись размером 35×185 мм.
2. В левой части листа в масштабе 1:1 по двум заданным проекциям построить третью и линии взаимного пересечения заданных поверхностей с учетом видимости.
3. В нижней правой части формата выполнить указанную в варианте аксонOMETрическую проекцию одной из поверхностей, мысленно удалив другую.
4. Выполнить отмывку акварелью.
5. Заполнить основную надпись чертежным шрифтом.

ВНИМАНИЕ! Все линии построения необходимо сохранить.

Пример выполнения задания представлен на рис. 86. Варианты задания даны в приложении.





АксонOMETрические проекции

Чертил Иванов А.А.

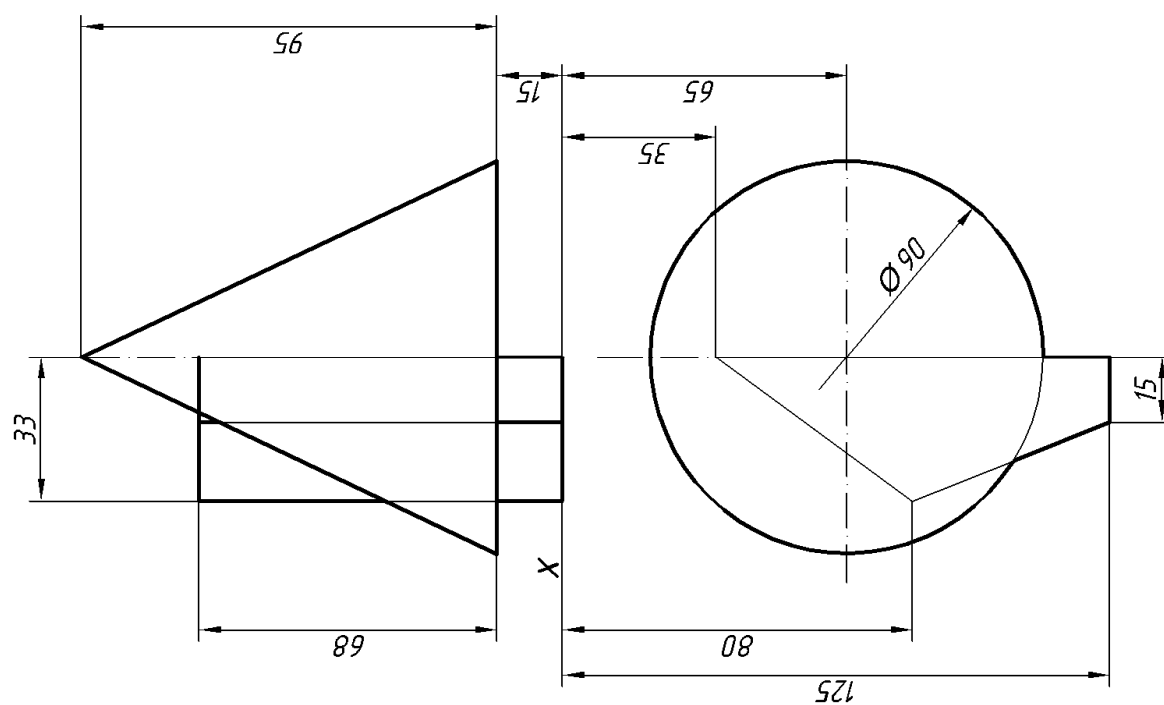
Принял Сидоров И.И.

ИИ НГПУ

гр. 111

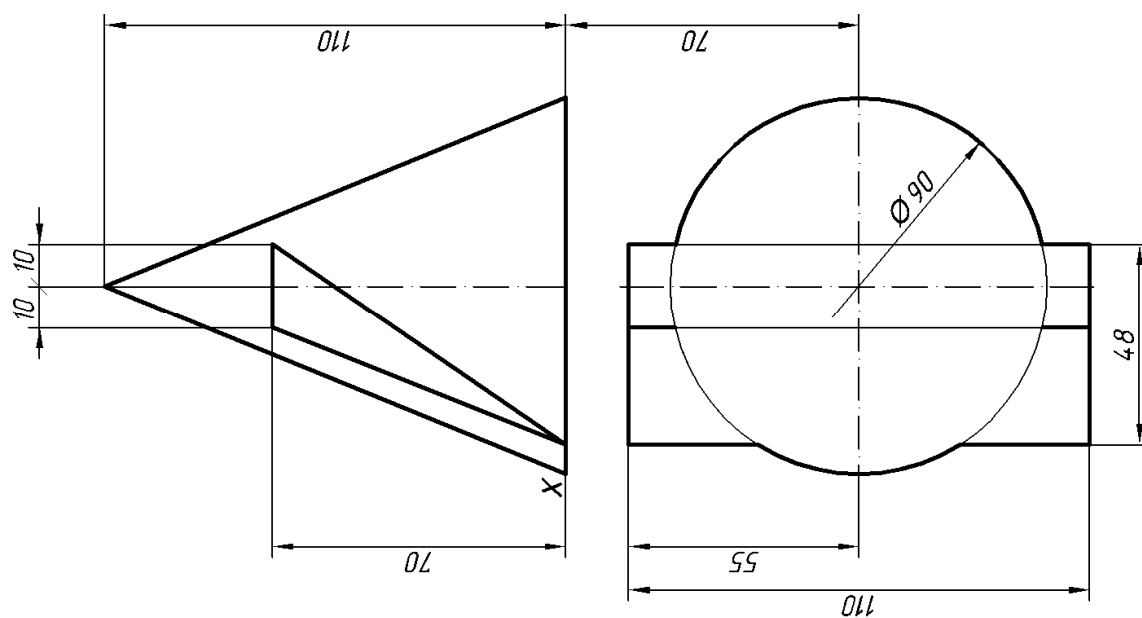
Рис. 86. Пример выполнения задания

Вариант 2



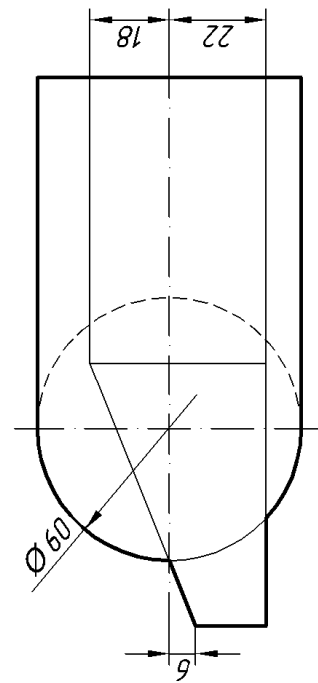
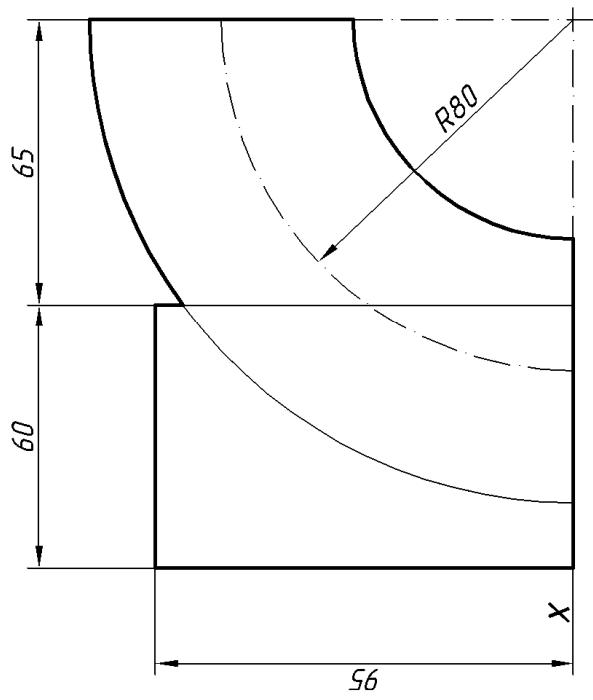
Прямоугольная диметрическая проекция конуса

Вариант 1



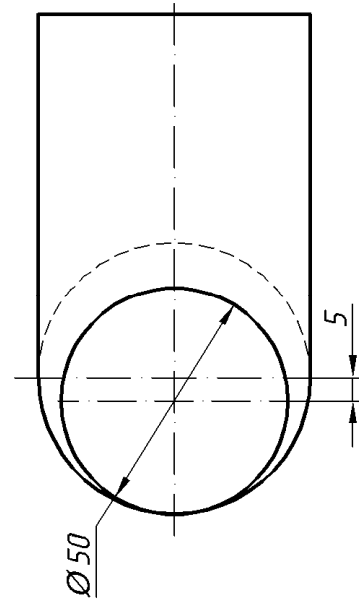
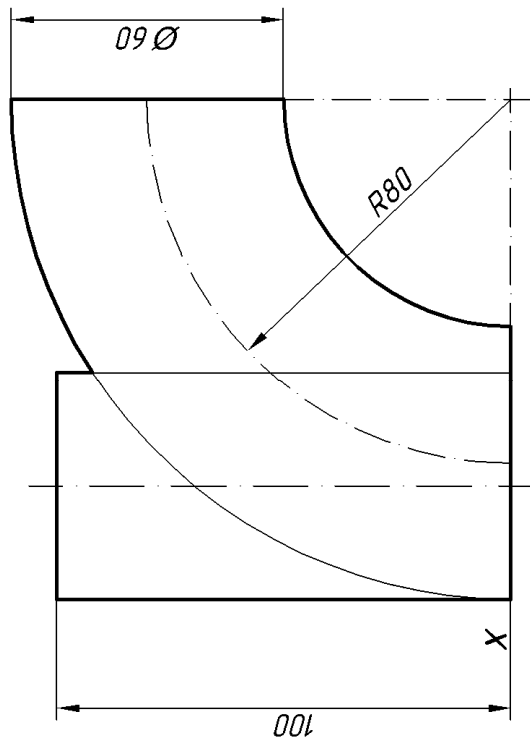
Прямоугольная изометрическая проекция конуса

Вариант 3



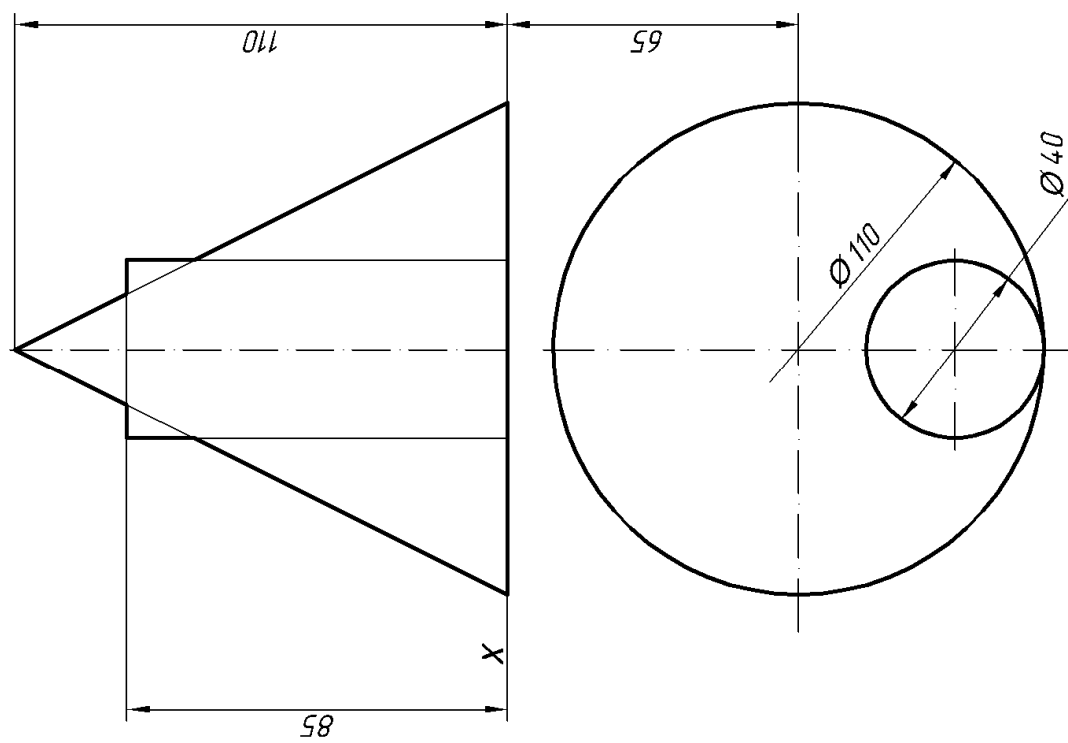
Прямоугольная изометрическая проекция тора

Вариант 4



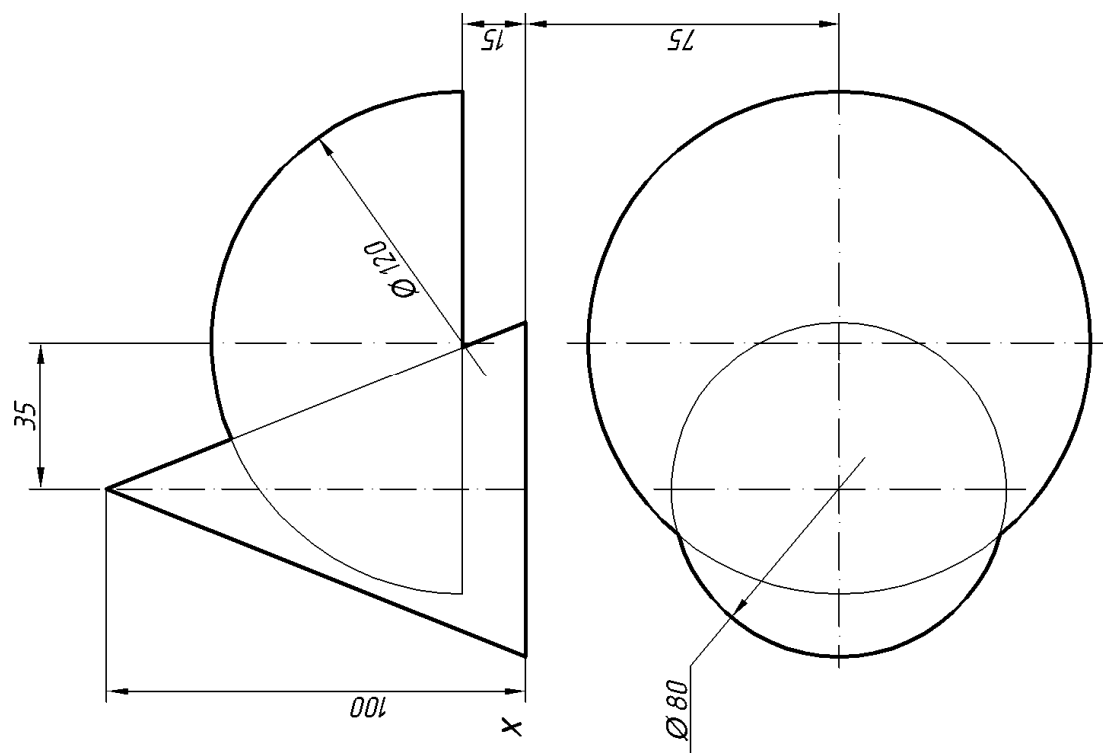
Прямоугольная изометрическая проекция тора

Вариант 5



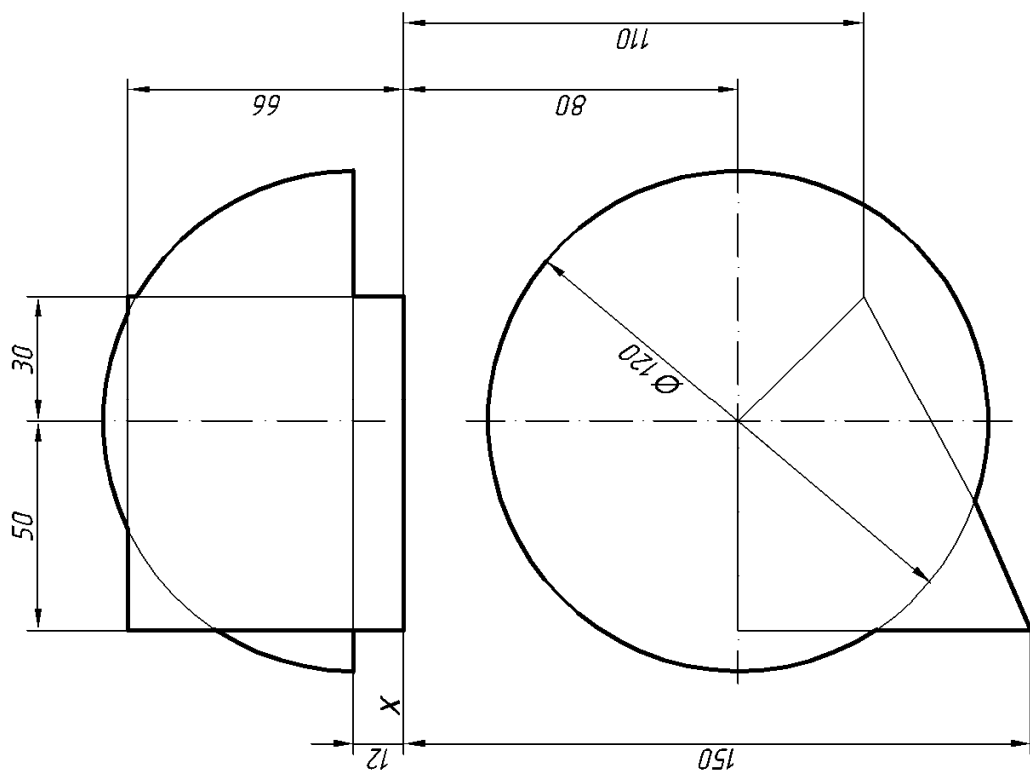
Прямоугольная диметрическая проекция конуса

Вариант 6



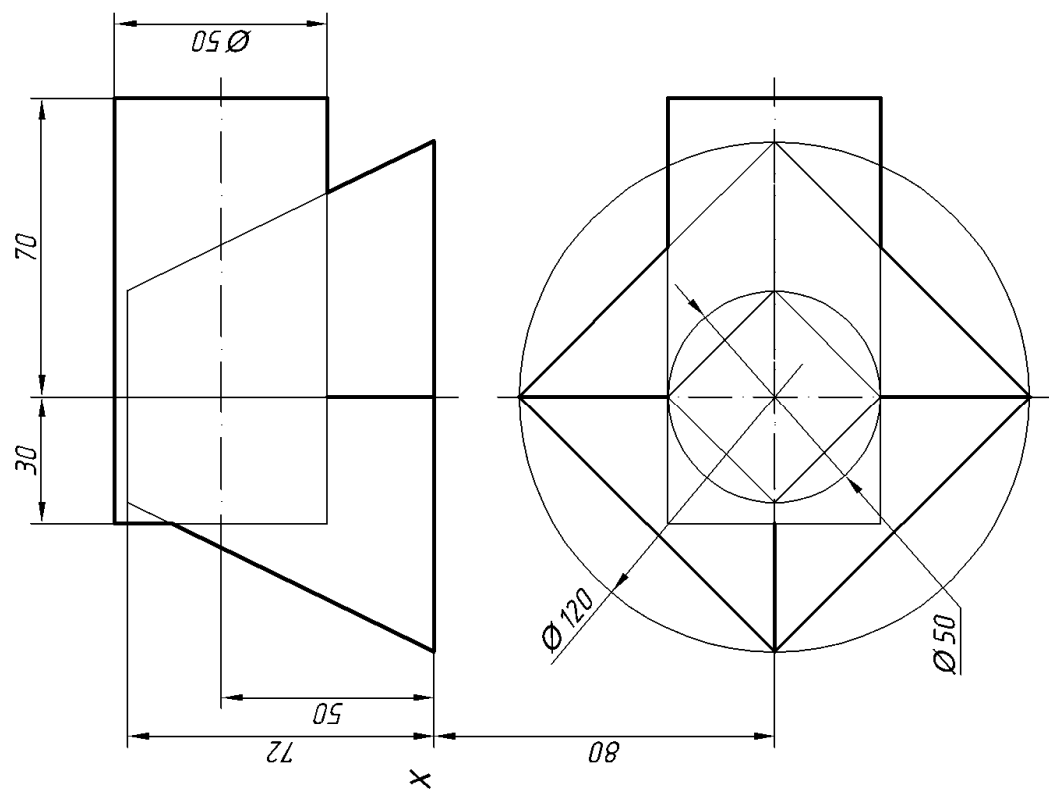
Прямоугольная изометрическая проекция сферы

Вариант 7

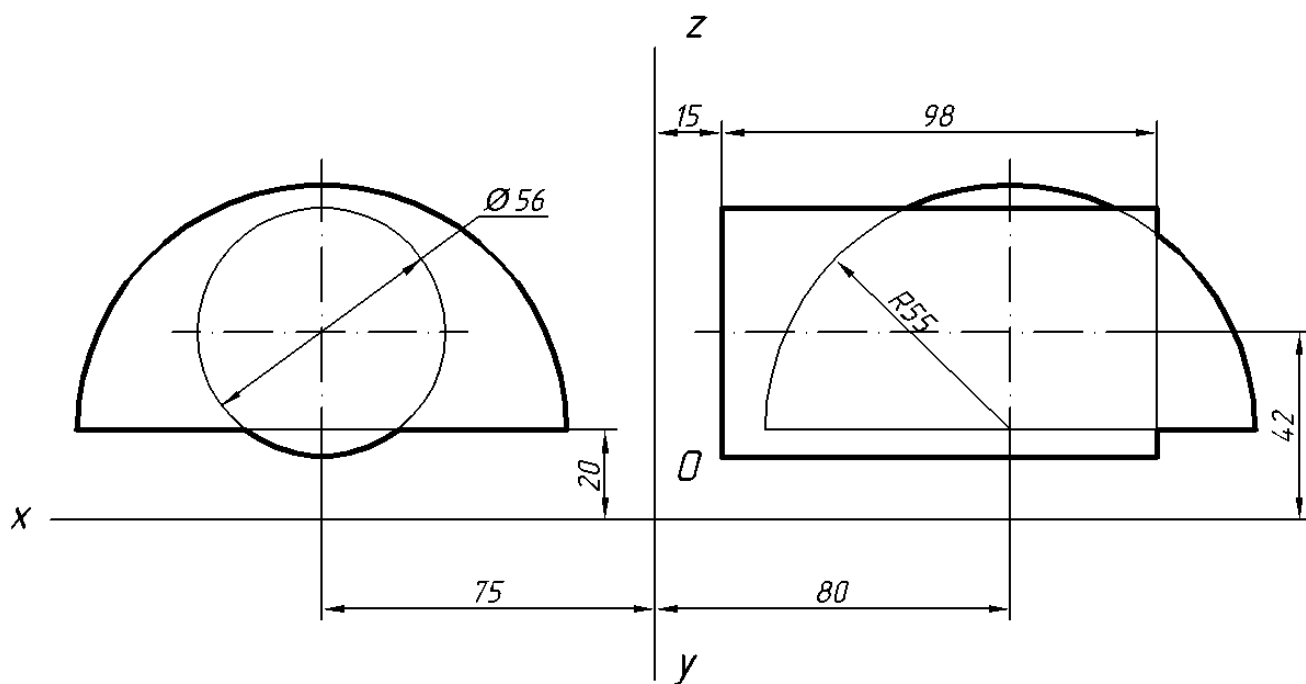


Прямоугольная изометрическая проекция сферы

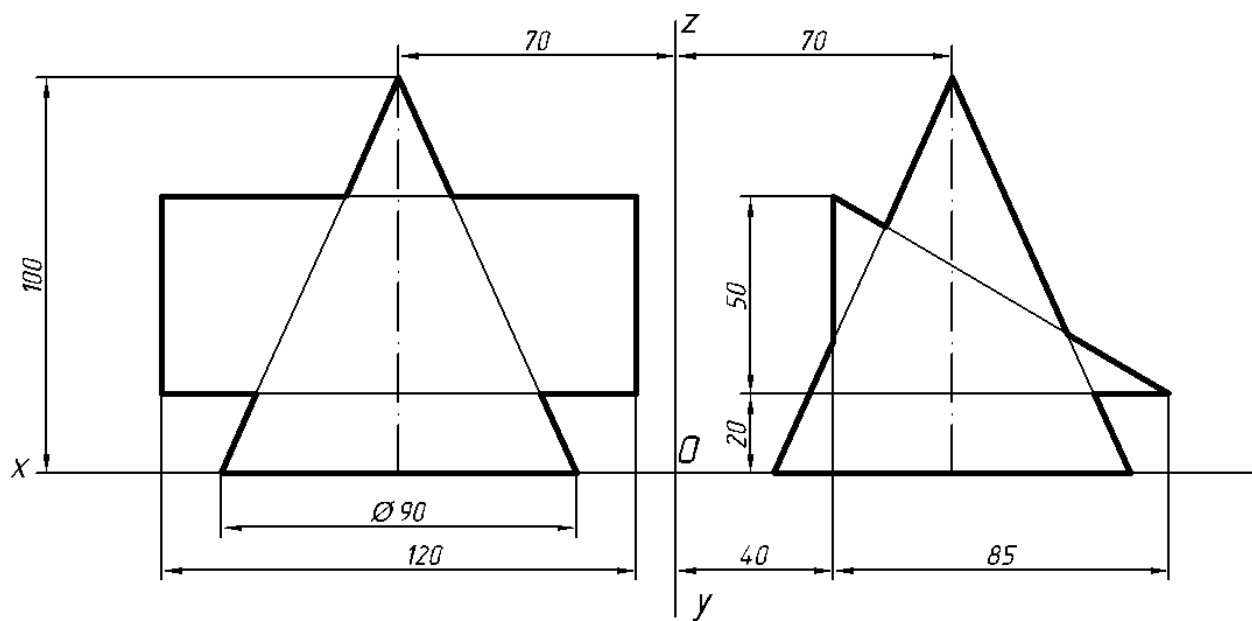
Вариант 8



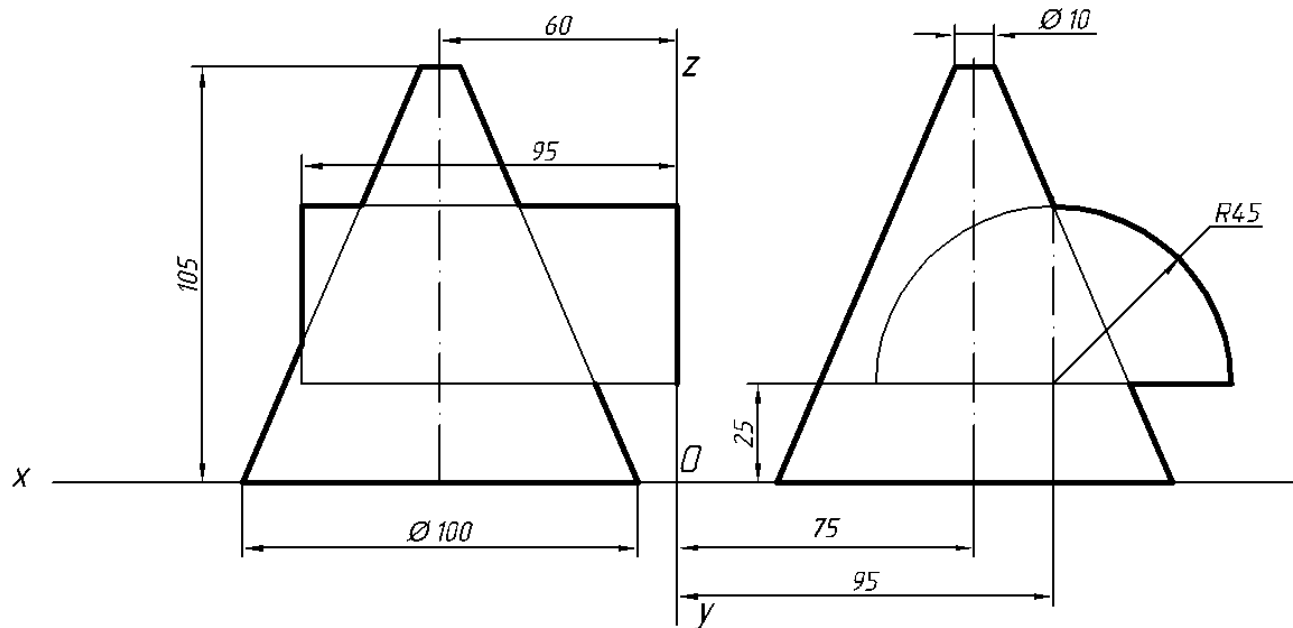
Прямоугольная диметрическая проекция пирамиды



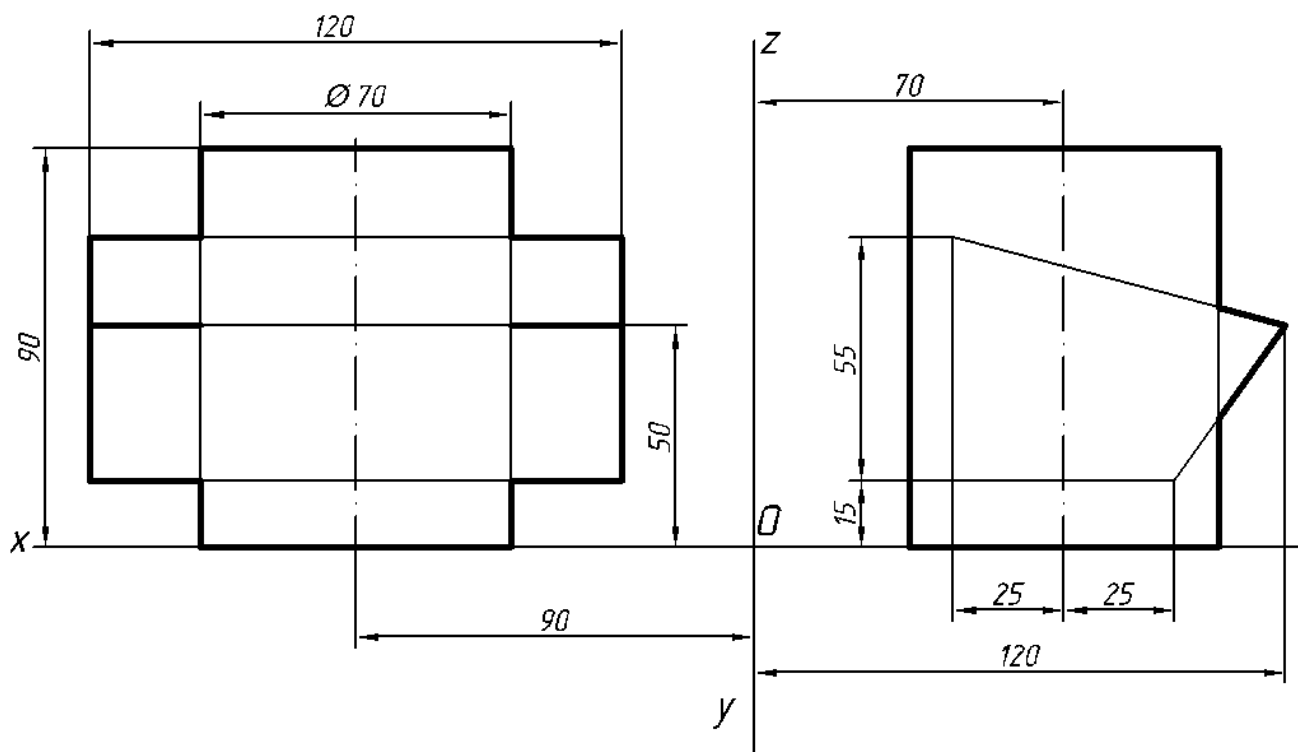
Прямоугольная изометрическая проекция сферы



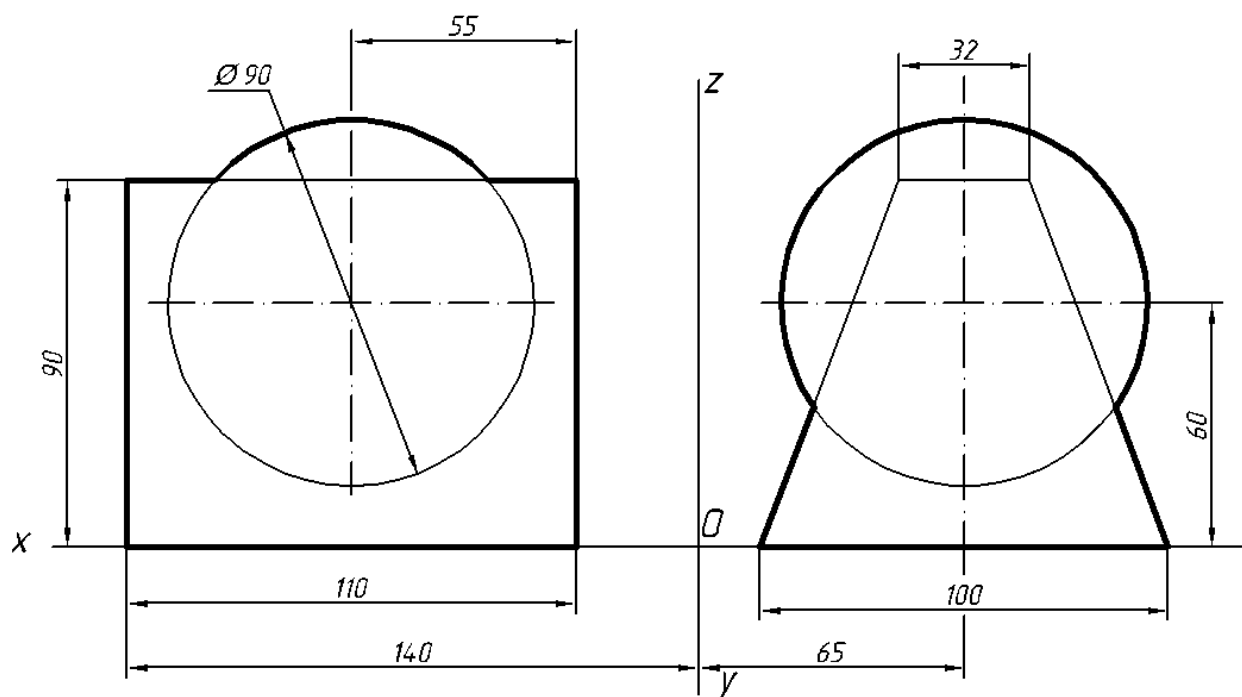
Прямоугольная диметрическая проекция призмы



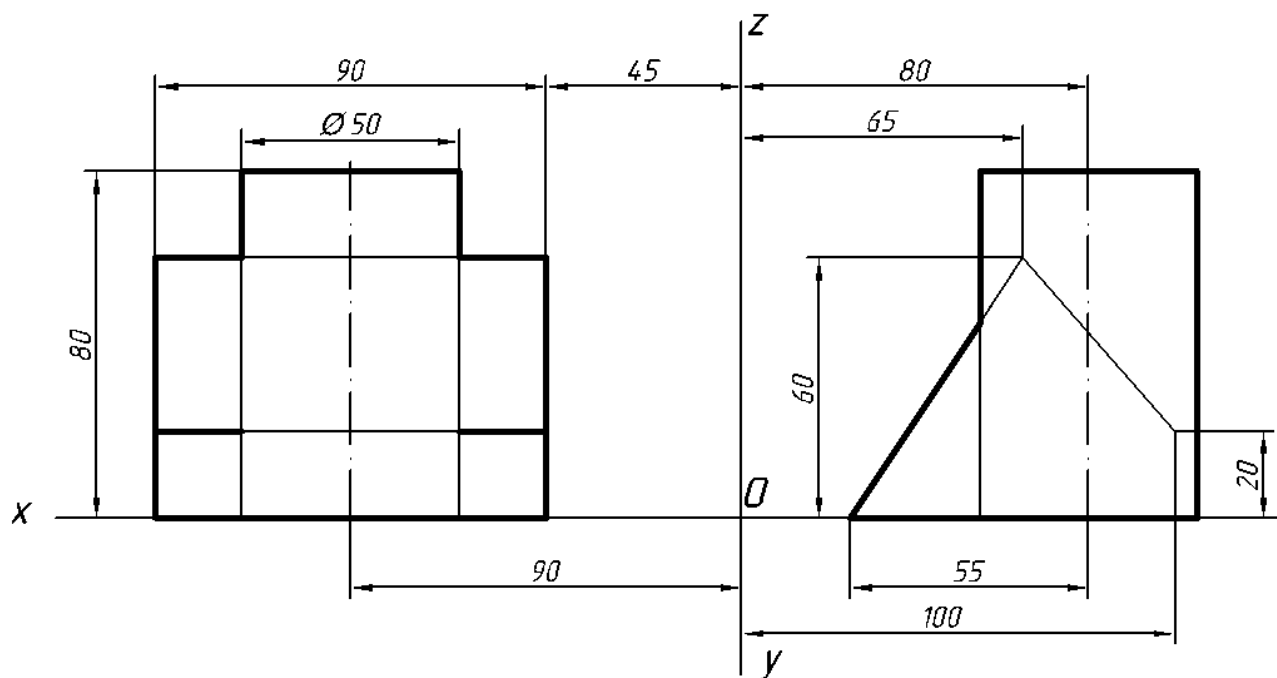
Прямоугольная изометрическая проекция конуса



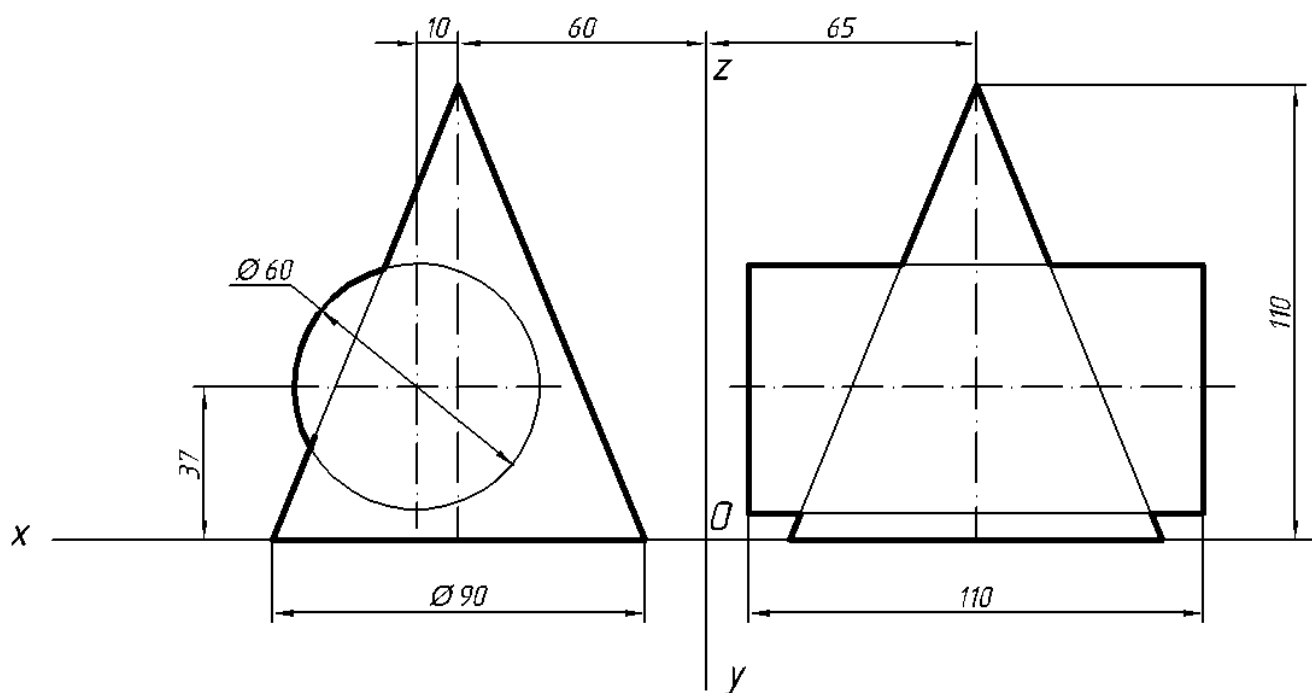
Прямоугольная изометрическая проекция призмы



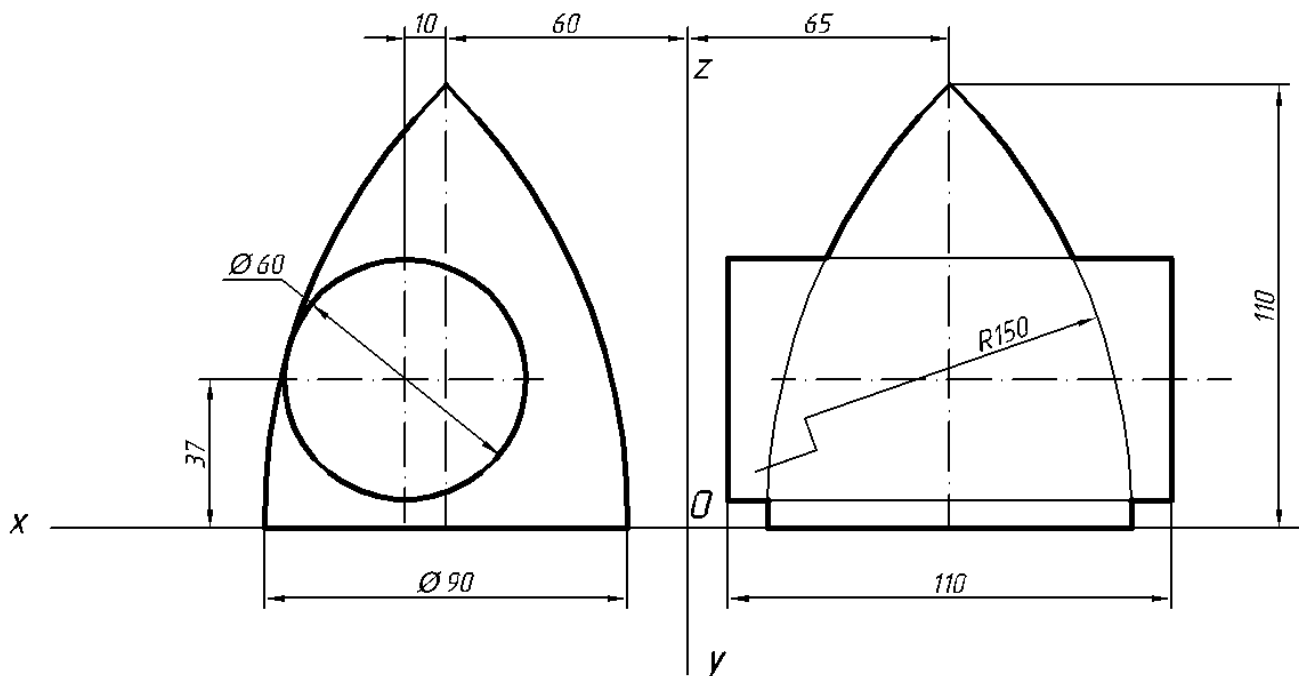
Прямоугольная диметрическая проекция призмы



Прямоугольная изометрическая проекция призмы



Прямоугольная изометрическая проекция конуса



Прямоугольная изометрическая проекция торовой поверхности

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автономова, М. П. Начертательная геометрия : учебное пособие по специальности «Изобразительное искусство» : доп. УМО вузов РФ / М. П. Автономова, А. П. Степанова. – Ростов-н/Д : Феникс, 2009. – 283 с.: ил. – (Высшее образование).
2. Единая система конструкторской документации: общие правила выполнения чертежей. ГОСТ 2.301-68 – ГОСТ 2.321-84. – М. : Изд. стандартов, 2004 – 158 с.
3. Ермоленко, Т. А. Основы начертательной геометрии : учебное пособие для студентов художественно-графического факультета / Т. А. Ермоленко, М. А. Федосеева. – Новосибирск : Изд-во НГПУ, 2006. – 83 с.
4. Ермоленко, Т. А. Начертательная геометрия : рабочая тетрадь для студентов Института искусств НГПУ. – 5-е изд., исправленное / Т. А. Ермоленко. – Новосибирск : Городской центр развития образования, 2014. – 49 с.
5. Королев, Ю. А. Начертательная геометрия : учебник для втузов : доп. М-вом обр. и науки РФ / Ю. А. Королев. – СПб. : Питер, 2008. – 252 с.: ил. – (Учебник для вузов).
6. Фролов, С. А. Начертательная геометрия : учебник для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов в области техники и технологии : доп. М-вом обр. и науки РФ / С. А. Фролов. – М. : ИНФРА-М, 2010. – 285 с.: ил. – (Высшее образование).
7. Чекмарев, А. А. Инженерная графика : учебник для немашиностроительных специальностей вузов. – 7-е изд., исправленное / А. А. Чекмарев. – М. : Высш. шк., 2006. – 365 с.: ил.

У ч е б н о е и з д а н и е

Ермоленко Татьяна Александровна
Федосеева Марина Александровна

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Учебное пособие

Второе издание, исправленное и дополненное

Редактор – *Е. В. Талалаева*
Компьютерная верстка – *И. С. Заковряшина*

Подписано к печати 14.09.15. Формат бумаги 60 × 84 / 8

Печать цифровая. Уч.-изд. л. 5,0. Усл. п. л. 8,9.

Тираж 100 экз. Заказ № 100.

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный педагогический университет»,
630126, г. Новосибирск, ул. Вилюйская, 28.

Тел.: 8(383)244-06-62, www.gio.nspu.ru

Отпечатано ФГБОУ ВПО «НГПУ»